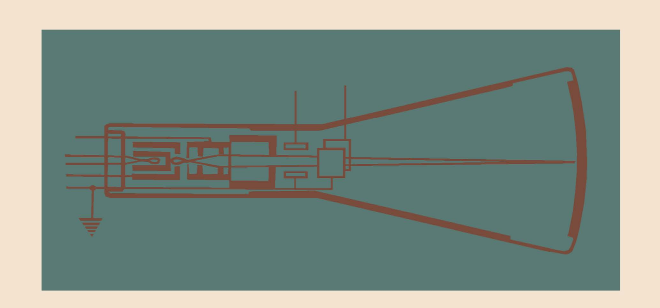


К. Д. ОСИПОВ

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 78

К. Д. ОСИПОВ

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Рекомендовано Управлением технической подготовки Центрального комитета Всесоюзного совета добровольного общества содействия армии в качестве пособия для радиоклубов



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В брошюре кратко излагаются сведения об устройстве и принципе работы электронно-лучевого осциллографа и основных его элементов. Приводятся краткие сведения о конструировании электронно-лучевых осциллографов. Рассматриваются способы использования электронно-лучевого осциллографа для измерения некоторых электрических величин, наблюдения и фотографирования различных электрических процессов и характеристик.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *С. С. Вайнштейн* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 4/VII 1950 г. Подписано к печати 5/X 1950 г.
Бумага 84×108 $^{1}/_{32}$=1 бумажный -- 3,28 п. л. Уч-изд. 4.
Т-07887 Тираж 15 000 экз. Зак. 199

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

Осциллографом или осциллоскопом называется прибор, служащий для наблюдения, записи и фотографирования мгновенных значений электрических величин переменного тока.

Электронно-лучевым или катодным осциллографом называется осциллограф, в котором в качестве «пера», пишущего кривую изменения мгновенных значений электрических величин, используется узкий луч электронов, летящих с большой скоростью и бомбардирующих покрытую специальным светящимся составом поверхность, называемую экраном. Управление перемещением электронного луча на экране производится исследуемым переменным током или напряжением.

С помощью электронно-лучевого осциллографа можно наблюдать форму электрических колебаний, измерять постоянные и переменные напряжения и токи, измерять мощность электрического тока, измерять разность фаз и определять фазовые углы, измерять частоту электрических колебаний, наблюдать резонансные характеристики контуров, наблюдать и снимать характеристики электронных ламп и т. д. Возможность непосредственного наблюдения и фотографирования электрических процессов делает осциллограф весьма универсальным и незаменимым измерительным прибором.

Электронно-лучевой осциллограф применяется главным образом для наблюдения и исследования периодически протекающих процессов, однако электронно-лучевые трубки и осциллографы специального назначения позволяют наблюдать и исследовать и непериодические или неустановившиеся процессы, такие как наблюдение и исследование одиночных импульсов, электрических разрядов и т. п.

В настоящей брошюре будут рассмотрены только осциллографы общего применения.

ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Электронно-лучевой осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки, генератора развертки, двух усилителей, блока питания и распределительной колодки. Блок-схема электронно-лучевого осциллографа приведена на фиг. 1.

Прежде чем приступить к ознакомлению с работой осциллографа в целом, разберем назначение и принцип работы отдельных его элементов.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

Электронно-лучевая трубка является важнейшим элементом электронно-лучевого осциллографа.

Она представляет собой стеклянную, специальной формы, колбу с высоким вакуумом [1], внутри которой помещен накаливаемый катод, излучающий электроны, и специальное устройство, позволяющее сообщать электронам большую скорость, собирать их в узкий параллельный луч и направлять их на покрытый специальным химическим составом экран, который обладает способностью светиться в месте, куда попадает электронный луч.

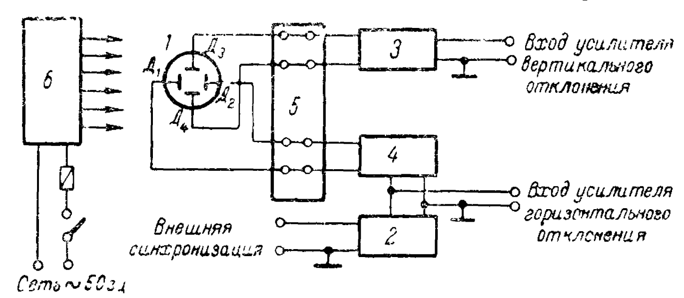
Кроме того, электронно-лучевая трубка имеет устройство, которое позволяет перемещать электронный луч по экрану под действием исследуемого напряжения или тока.

Катод трубки и устройство для получения электронного луча, обычно состоящее из управляющего электрода и двух анодов специальной конструкции, часто называются электронным прожектором или электронной пушкой. Устройство, служащее для отклонения электронного луча от прямолинейного направления, называется отклоняющей систе-

[1] Имеются и газонаполненные электронно-лучевые трубки, однако в настоящее время для осциллографов они почти не применяются. Поэтому мы на них останавливаться не будем.

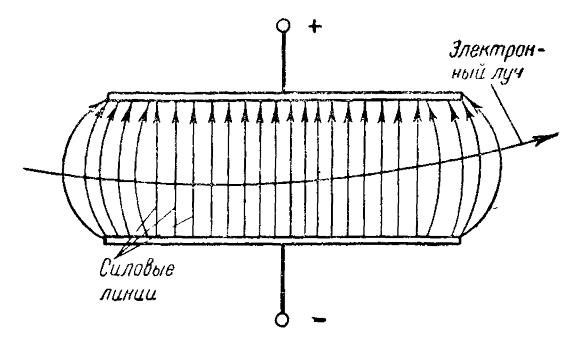
мой. Разберем теперь некоторые физические процессы, происходящие в электронно-лучевой трубке.

Отклонение электронного луча электрическим полем. Если поток электронов, излучаемый катодом, пропустить между двумя разноименно заряженными паралельными



Фиг. 1. Блок-схема электронно-лучевого осциллографа.
1—электронно-лучевая трубка; 2—генератор развертки; 3—усилитель вертикального отклонения; 4—усилитель горизонтального отклонения; 5—распределительная колодка; 6—блок питания.

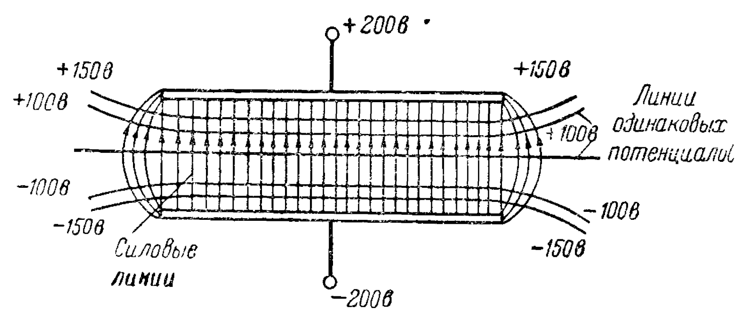
пластинами, то под действием электростатического поля между этими пластинами электронный поток будет отклоняться от прямолинейного направления, как это показано на фиг. 2.



Фиг. 2. Отклонение электронного луча электростатическим полем.

Действие электростатического поля заряженных параллельных пластин на поток электронов мы можем уяснить из фиг. 3, на которой схематически изображено электростатическое поле между двумя параллельными пластинами.

Если мы к пластинам приложим некоторое постоянное напряжение, то между пластинами образуется электростатическое поле, направление которого показано стрелками. Если в электростатическое поле поместить электрон (который, как известно, несет отрицательный заряд), не имеющий начальной скорости, то он будет двигаться в поле вдоль линий, отмеченных стрелками, под действием положительного заряда верхней пластины, так как разноименные заряды притягиваются. Линии, вдоль которых будет двигаться электрон, называются силовыми линиями.



Фиг. 3. Электростатическое поле между двумя параллельными пластинами.

Линии, перпендикулярные силовым линиям, называются эквипотенциальными линиями, т. е. линиями с одинаковым потенциалом к каждой пластине.

Если в электростатическое поле попадает электрон с большой начальной скоростью, то на него также начинают действовать силы, направленные вдоль силовых линий, которые пересекает электрон. Однако в этом случае притяжение электрона положительно заряженной пластиной будет недостаточно длительным по времени для того, чтобы заставить электрон достичь положительной пластины, и лишь в той или иной мере отклонит электрон от его прямолинейного пути. Это свойство электростатического поля и используется для фокусировки и смещения пучка электронов, движущихся по направлению к экрану трубки.

Экран электронно-лучевой трубки. Электронный пучок (луч) состоит из очень большого количества электронов, движущихся с большой скоростью и имеющих большую энергию движения. Электроны, ударяясь о какое-либо

препятствие, расходуют свою энергию частично на выбивание других электронов из поверхности, на которую они падают, на разогрев этой поверхности, а если поверхность покрыта так называемым флюоресцирующим веществом, то некоторая часть энергии электронов превращается в световую. Свечение такой поверхности при ударе об нее электронов называется флюоресценцией.

Флюоресцирующие материалы, применяемые для экранов в электронно-лучевых трубках, дают различное свечение. Так, например: смесь сернокислого цинка с сернокислым кадмием или цинкобериллиевым силикатом дает белое свечение, окись цинка — голубое, бериллиевый цинк — желтое, виллемит — зеленое.

Все флюоресцирующие материалы обладают способностью продолжать свечение некоторое время после прекращения действия электронов. Эта способность называется фосфоресценцией. Однако, продолжительность послесвечения зависит от материала, а также и от количества энергии электронного луча, вызывающего свечение. В электронно-лучевых трубках, используемых для наблюдения неповторяющихся процессов или периодических процессов с низкой частотой, для экранов используются материалы, которые обладают длительным послесвечением. Для повторяющихся процессов с большой частотой используются материалы, обладающие малым послесвечением, так как в противном случае послесвечение может повести к искажению изображения на экране.

Интенсивность или яркость свечения пятна на экране электронно-лучевой трубки зависит от скорости и числа электронов, падающих на экран в одну точку, за некоторый промежуток времени.

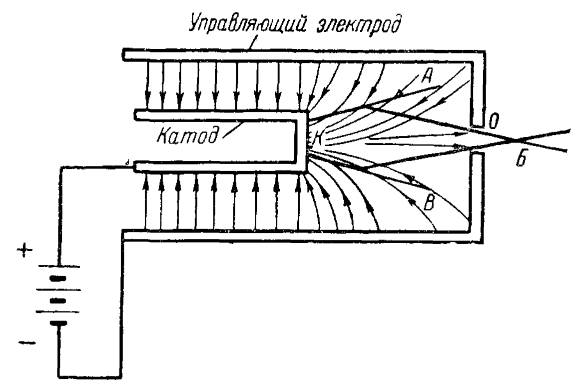
Количество света, излучаемого экраном, ограничено, и при некоторой яркости свечения наступает максимум, после которого дальнейшее усиление пучка электронов не вызывает увеличения свечения.

Регулировка интенсивности свечения пятна на экране осуществляется или путем изменения количества электронов в электронном пучке, или изменением скорости электронов.

Катод электронно-лучевой трубки. В электронно-лучевых трубках применяется подогревный катод с оксидным покрытием для увеличения эмиссии. Для излучения электронов только в одном направлении катод делается в виде

маленького металлического цилиндра с оксидным покрытием только с торца. Металлический цилиндр одет на тонкую фарфоровую трубочку, внутри которой помещается нить подогрева, свернутая в двойную спираль; благодаря этому магнитное поле, создаваемое одной половиной нити, компенсируется полем второй половины и не влияет на электронный поток.

Управляющий электрод электронно-лучевой трубки. Для регулировки количества электронов в электронном пучке электронно-лучевая трубка имеет управляющий



Фиг. 4. Действие управляющего электрода

электрод, который представляет собой металлический цилиндр, расположенный вокруг катода. Цилиндр в торце имеет небольшое отверстие, через которое и могут проходить электроны.

Управляющий электрод или, как его иногда называют, цилиндр Венельта, а иногда и просто сетка имеет отрицательный потенциал относительно катода. На фиг. 4 приведено схематическое изображение катода вместе с управляющим электродом и показаны силовые линии электростатического поля между катодом и управляющим электродом.

Действие управляющего электрода на электроны состоит в следующем. Если электрон вылетит из катода в направлении к точке *А*, то он попадает под влияние электростатического поля. Сила, действующая на электрон, направлена вдоль тех силовых линий, которые электрон пересекает. Она отклоняет электрон от начального направления к центру торца управляющего электрода.

Путь электрона в этом случае изобразится линией *КБ*. Таким же образом электрон, вылетевший из катода по направлению к точке *В*, будет отклонен к центру электростатическим полем. Пути обоих электронов пересекутся в точке *Б*. Любой другой электрон при определенной величине электростатического поля также пройдет через точку *Б*. Таким путем в точке *Б* все электроны будут собраны в узкий луч.

Если же мы увеличим отрицательный потенциал управляющего электрода, то под действием более сильного электростатического поля часть электронов получит еще большее отклонение и не проскочит через отверстие и только некоторая часть пройдет через отверстие *О*.

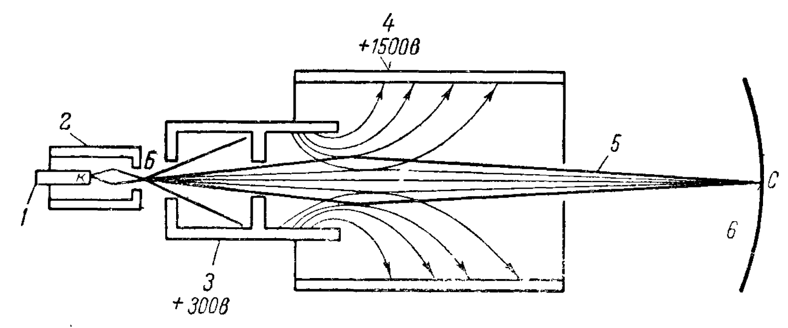
Такое свойство управляющего электрода позволяет регулировать количество электронов в луче, а следовательно, и яркость пятна на экране.

Аноды электронно-лучевой трубки. Управляющий элекрод обеспечивает сужение луча электронов в точке *Б*, близко расположенной от него. При удалении от точки *Б* электронный луч снова расходится вследствие отталкивающего действия электронов друг от друга. Для получения узкого луча после точки *Б* требуется дополнительная фокусировка. Эта фокусировка осуществляется с помощью двух цилиндрических анодов, первый из которых обычно называется фокусирующим, а второй — ускоряющим. На фиг. 5 приведена схема трубки с анодами и показан ход электронного луча. Оба анода имеют положительный потенциал относительно катода. Второй анод имеет более высокий положительный потенциал в сравнении с первым. Поэтому между анодами создается некоторое электростатическое поле, которое изображено на фиг. 5. Направление силовых линий электростатического поля между двумя анодами указано стрелками.

Электроны, вылетающие из точки *Б*, попадая в электростатическое поле между анодами, под действием силовых линий первой части поля движутся одновременно вдоль оси анодов и по направлению к ней. В местах, где силовые линии параллельны оси анодов, электроны движутся вдоль оси, а затем, продолжая двигаться вдоль оси, одновременно отклоняются от нее. В этой части поля силовые линии имеют меньшую кривизну, чем в первой части поля, поэтому отклонение электронов будет незначительным. Так как электроны летят с большой скоростью, то, получив

первоначальное отклонение к оси, они пересекут ее (фокусируются) в некоторой точке C (фокусе). Чем больше напряжение на втором аноде относительно первого, тем дальше окажется эта точка. Регулируя это напряжение, можно сфокусировать электроны в точке, находящейся на экране трубки.

Так как все электроны, собираемые в луч, несут одинаковые по величине и одноименные заряды, то за счет отталкивания электронов друг от друга электронный луч несколько рассеивается, но благодаря огромной скорости



Фиг. 5. Фокусировка электронного луча в электронно-лучевой трубке
1—катод; 2—управляющий электрод; 3—первый, фокусирующий анод; 4—второй, ускоряющий анод; 5—электронный луч; 6—экран.

электронов влияние их отталкивания на фокусировку очень незначительное.

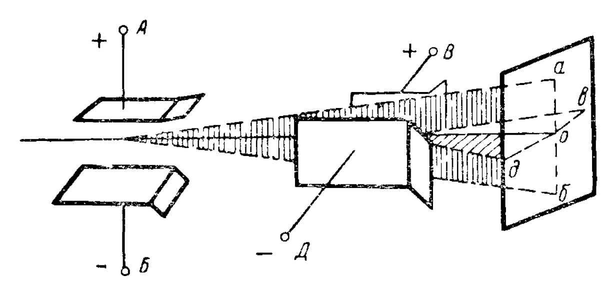
Фокусировка электронного луча осуществляется изменением электростатического поля между анодами за счет регулировки напряжения на первом аноде. Второй анод служит ускоряющим для электронного луча.

При попадании электронного луча на экран часть его энергии тратится на выбивание электронов из экрана. Выбитые из экрана электроны называются вторичными и их можно рассматривать как электроны, испускаемые экраном. Если бы эти электроны скапливались на экране, то он быстро приобрел бы большой отрицательный заряд, мешающий нормальной работе трубки. Для устранения этого явления электронно-лучевые трубки покрываются внутри по стеклу графитовым покрытием (аквадаком), который притягивает к себе вторичные электроны, испускаемые экраном. Для нормальной работы трубки необходимо, чтобы число вторичных электронов было равно числу пер-

вичных, т. е. такое условие, когда заряд экрана не изменяется.

Графитовое покрытие служит также экранировкой для электронного луча от влияния внешних полей.

Отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. Как уже было установлено, электронный луч, проходя через электростатическое поле между двумя параллельными пластинами, может отклоняться от начального пути под действием поля между пластинами. Величина отклонения электронного луча электростатическим полем зависит от скорости движения электронов луча и от величины напря-



Фиг. 6. Отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки

жения, приложенного к пластинам. Если электроны движутся медленно, то они находятся в поле большее время и отклоняются полем больше. Если электроны в луче движутся в электростатическом поле с постоянной скоростью, то отклонение луча будет тем больше, чем больше напряжение на отклоняющих пластинах. Это свойство электронного луча используется в электростатических электронно-лучевых трубках для отклонения электронного луча под действием внешних исследуемых напряжений.

Электронно-лучевая трубка имеет две пары отклоняющих пластин, расположенных перпендикулярно относительно друг друга, как это показано на фиг. 6. Первая пара пластин служит для отклонения электронного луча в вертикальном направлении и называется вертикально-отклоняющими пластинами. Вторая пара служит для отклонения луча в горизонтальном направлении и называется горизонтально-отклоняющими пластинами.

Горизонтально-отклоняющие пластины расположены ближе к экрану трубки.

Когда электронный луч проходит электростатическое поле вертикально-отклоняющих пластин, то в случае, если потенциал верхней пластины выше, луч отклонится вверх и попадет на экран трубки в точке *а*. Если же будет выше потенциал на нижней пластине, то луч отклонится вниз и попадет на экран в точке *б*. При равенстве потенциалов луч не претерпит отклонения и попадет на экран в точке *О*, расположенной на оси трубки.

Если обе вертикально-отклоняющие пластины имеют одинаковый потенциал, а передняя пластина горизонтально-отклоняющей системы имеет положительный потенциал относительно задней, то электронный луч отклонится в сторону передней пластины и попадет на экран в точке *д*. Если же передняя пластина будет иметь отрицательный потенциал относительно задней, то луч отклонится в противоположном направлении и попадет на экран в точке *в*.

При одинаковом потенциале на обеих пластинах луч не будет иметь отклонения и попадет на экран в точке *О*.

Величина отклонения луча первой парой пластин по вертикали и второй парой по горизонтали зависит от величины напряжения, приложенного к пластинам, так как отклоняющее электростатическое поле при увеличении напряжения на пластинах увеличивается. Величина отклонения луча зависит также от расстояния между отклоняющими пластинами и экраном.

В каждой данной трубке скорость потока электронов и расстояние между пластинами и экраном постоянны, поэтому отклонение пятна на экране будет зависеть только от напряжения, приложенного к отклоняющим пластинам.

Отклонение луча в миллиметрах от оси трубки, получающееся на экране, при наличии на пластинах постоянного напряжения в 1 *в* называется чувствительностью трубки. Эта величина является одним из параметров трубки. Чувствительность при вертикальном отклонении луча несколько выше, чем чувствительность при горизонтальном отклонении. Объясняется это тем, что вертикально-отклоняющие пластины находятся дальше от экрана.

Для увеличения отклонения луча, кроме увеличения расстояния пластин от экрана, пластины делают большей длины с тем, чтобы луч находился в поле пластин большее время. В этом случае пластины делают параллельными не по всей длине. Часть длины пластины делают расходящейся, как показано на фиг. 6, для того, чтобы

луч не мог при большом отклонении ударяться в края пластин.

Мы разобрали отклонение электронного луча в электростатическом поле двух перпендикулярно-расположенных пар отклоняющих пластин. При этом мы считали, что на луч действует поле только какой-нибудь одной пары пластин.

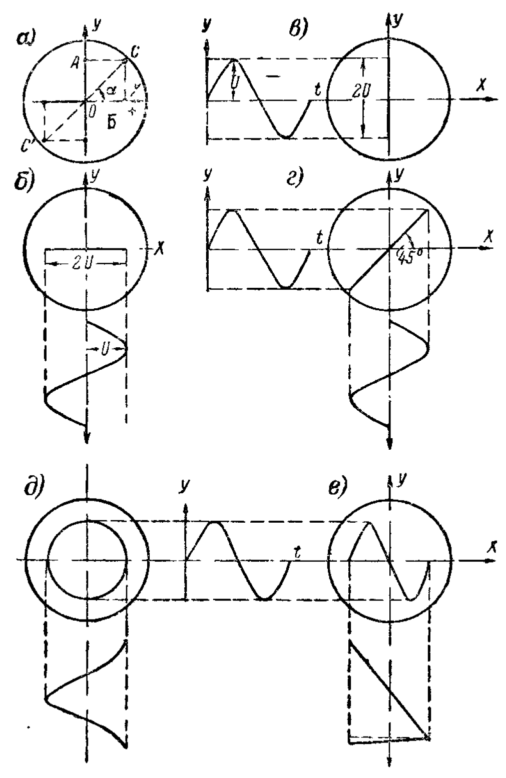
Теперь предположим, что на электронный луч действуют одновременно поля вертикально- и горизонтально-отклоняющих пластин. Следовательно, на него будут действовать одновременно две силы, направленные под прямым углом друг к другу, под действием которых луч получит смещение под углом α к горизонтальному диаметру трубки.

На фиг. 7 представлено направление смещения луча от центра трубки в этом случае. Чтобы разобраться в этом, предположим, что в точке *О* на фиг. 7,*а* находится какой-нибудь груз, который перемещается под действием вертикально-действующей силы из точки *О* в точку *А*. Если теперь на груз начнет действовать горизонтально-действующая сила, то груз переместится из точки *А* в точку *С*. Когда же на наш груз будут действовать обе силы одновременно, то он также попадет в точку *С*, но будет перемещаться уже по линии *ОС*, по которой будет действовать результирующая сила.

То же самое происходит и с электронным лучом. Если напряжение на обеих парах пластин отсутствует, то луч падает в точку *О*, если напряжение приложено только к вертикально-отклоняющим пластинам, то луч смещается по вертикали в точку *А*. Если после этого подать напряжение на горизонтально-отклоняющие пластины, то луч смещается по горизонтальному направлению в точку *Б*. Если же напряжение приложить к обеим парам пластин, то луч сместится от центра экрана под некоторым углом, величина которого будет зависеть от величин напряжений, приложенных к пластинам, и при равенстве напряжений угол α будет равен 45°. При перемене полярности напряжения на пластинах луч будет менять направление перемещения, как это показано на фиг. 7,*а*. Таким образом, положение пятна на экране будет определяться в любой момент результирующей силой электростатических полей от двух напряжений, приложенных к отклоняющим пластинам.

На свойстве луча перемещаться по экрану под действием двух переменных напряжений основано наблюдение на экране осциллографа переменных электрических процессов.

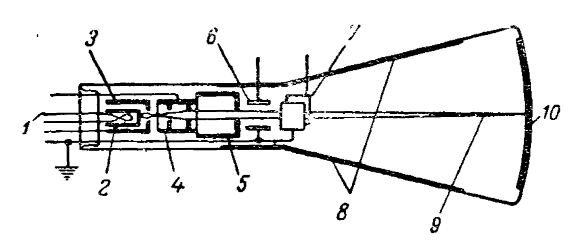
Как известно, человеческий глаз, получив зрительное впечатление, может удерживать его примерно в течение $^1/_{16}$ *сек.* На этом свойстве основана кинематография, где



Фиг. 7. Результирующее перемещение электронного луча по экрану под действием двух пар отклоняющих пластин.

впечатление движения создается быстрой сменой серии неподвижных изображений. В электронно-лучевой трубке луч по экрану может двигаться настолько быстро, что ряд последовательных пятен может быть глазом воспринят как линия, если перемещение луча происходит периодиче-

ски по одному пути и в каждой точке пути луч побывает в течение секунды не менее 16 раз. Если к горизонтально-отклоняющим пластинам приложить переменное синусоидальное напряжение, то электронный луч начнет отклоняться вправо и влево с большой скоростью, образуя на экране горизонтальную линию (фиг. 7, *б*). То же самое мы получим, если подведем напряжение к вертикально-отклоняющим пластинам, только линия, образованная движением луча, будет вертикальной (фиг. 7,*в*). Теперь предположим, что к обеим парам отклоняющих пластин мы приложим одинаковые по амплитуде, частоте и фазе напряжения синусоидальной формы.



Фиг. 8. Общая схема электронно-лучевой трубки.

1—нить накала; *2*—катод; *3*—управляющий электрод (сетка); *4*—первый анод; *5*—второй анод; *6*—вертикально-отклоняющие пластины; *7*—горизонтально-отклоняющие пластины; *8*—экранирующий слой; *9*—электронный луч; *10*—экран.

Тогда электронный луч будет передвигаться под действием обоих напряжений и опишет на экране линию, отклоненную от горизонтального диаметра трубки на угол, равный 45°, как это показано на фиг. 7,*г*. При равенстве амплитуд и частот напряжений, приложенных к отклоняющим пластинам, но сдвинутых по фазе на 90°, мы получим на экране окружность, подобную изображенной на фиг. 7, *д*.

Подводя к вертикально-отклоняющим пластинам напряжение синусоидальной формы, а к горизонтально отклоняющим пластинам периодическое напряжение, которое возрастает от нуля до некоторого максимального значения за определенный, известный промежуток времени и затем быстро спадает до нуля, мы получим на экране трубки изображение, подобное приведенному на фиг. 7,*е*, которое представляет собой развернутое по времени изображение приложенного к вертикально-отклоняющим пластинам синусоидального напряжения. Напряжение, приложенное в этом случае к горизонтально-отклоняющим пластинам,

называется напряжением развертки и используется для получения на экране трубки изображений периодически протекающих процессов. Как это достигается в осциллографе, мы узнаем ниже.

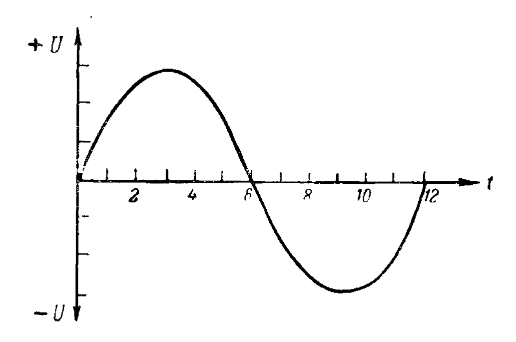
Здесь мы ознакомились с работой электронно-лучевой трубки, с электростатической фокусировкой и отклонением электронного луча. На фиг. 8 приведена схема электронно-лучевой трубки с электростатическим управлением.

Существуют трубки с электростатической фокусировкой и электромагнитным отклонением или с электромагнитными фокусировкой и отклонением луча. Однако для осциллографов общего применения они не используются и мы на них останавливаться не будем.

ГЕНЕРАТОР РАЗВЕРТКИ

Вторым важным элементом электронно-лучевого осциллографа является генератор развертки.

Для того чтобы уяснить назначение и принцип работы генератора развертки, обратимся к фиг. 9, где изображен график переменного напряжения синусоидальной формы. Этот график показывает процесс изменения синусоидального напряжения в зависимости от времени.

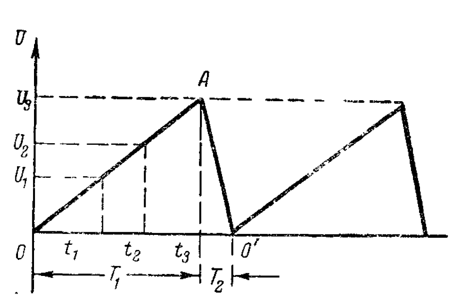


Фиг. 9. График синусоидального напряжения.

Чтобы наблюдать на экране осциллографа изменение во времени какого-либо повторяющегося электрического процесса, нужно, чтобы на горизонтально-отклоняющие пластины подавалось напряжение, которое периодически и с постоянной скоростью перемещало бы электронный луч горизонтально по экрану до определенной точки и затем мгновенно возвращало бы его в начальное положение. Так как электронный луч при быстром изменении напряжения падает в данную точку экрана на мгновение, то для того, чтобы получить непрерывную линию, нужно обеспечить такое число периодических перемещений луча,

чтобы глаз воспринимал перемещения луча как непрерывные. Напряжение, выполняющее такое периодическое перемещение электронного луча, называется, как указано выше, «напряжением развертки», а линия, образованная перемещением луча на экране, называется линией времени.

Если продолжительность одного перемещения электронного луча по экрану равна одному периоду исследуемого напряжения, приложенного к вертикально-отклоняющим пластинам трубки, то на экране при одновременном действии обоих напряжений появится кривая, воспроизводящая один период исследуемого напряжения. Если же частота исследуемого напряжения равна f, а частота напряжения развертки равна $f:n$, то на экране мы получим n периодов исследуемого напряжения. Если деление f на n производится без остатка, т. е. частоты исследуемого напряжения и напряжения развертки кратны друг другу, то на экране мы получим неподвижное изображение.



Фиг. 10. Напряжение пилообразной формы.

В качестве напряжения развертки в электронных осциллографах используется так называемое пилообразное напряжение. Пилообразным оно называется потому, что форма его кривой напоминает зубцы пилы.

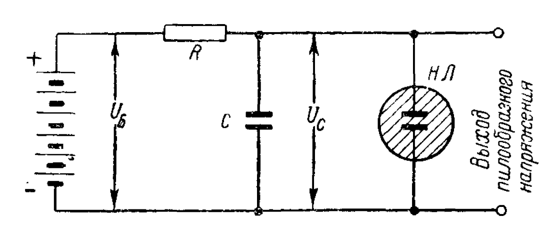
На фиг. 10 изображен график пилообразного напряжения. За один период напряжение линейно возрастает от точки O до точки A (за время T_1) и быстро падает от точки A до точки O' (за время T_2).

Если такое напряжение приложить к горизонтально-отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки, то электронный луч будет передвигаться по экрану, образуя линию времени. Если равные приращения напряжения U_1 и U_2 будут происходить за равные промежутки времени t_1 и t_2 на всем протяжении линии OA, то масштаб по линии времени будет линейным.

Знная время, в течение которого напряжение пилообразной формы возрастает от O до точки A и разбив участок

OA на равные промежутки, мы получим ось или шкалу времени и можем судить о периоде исследуемого колебания.

Вследствие того, что с помощью электронно-лучевого осциллографа исследуются напряжения очень различных частот и постоянная шкала времени (определяемая одной частотой пилообразного напряжения) может оказаться или слишком растянутой, или слишком сжатой, шкалу времени делают переменной, изменяя частоту напряжения развертки. Для шкалы времени используется участок периода пилообразного напряжения, при котором происходит только



Фиг. 11. Схема генератора пилообразного напряжения с неоновой лампой.

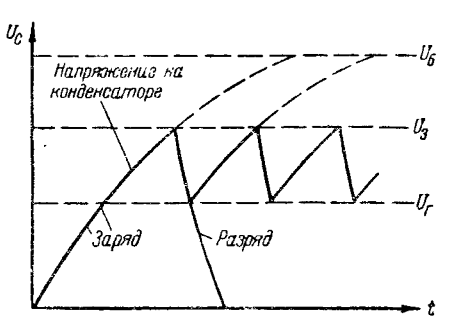
возрастание напряжения, т. е. участок *OA*. Участок *AO'* используется для мгновенного возвращения луча в начальное положение для повторения процесса. Это возможно только в том случае, когда напряжение очень быстро падает от *A* до *O'* или, что то же самое, когда время T_2 ничтожно мало в сравнении с временем T_1. Время T_2 называется временем обратного хода. Луч движется по экрану в течение времени T_2 настолько быстро, что след его получается очень слабым и практически невидимым.

Генератор развертки служит для получения пилообразного напряжения развертки.

Генератор развертки с неоновой лампой. Простейшим генератором пилообразного напряжения является генератор с неоновой лампой. На фиг. 11 представлена схема такого генератора. Она состоит из сопротивления *R*, конденсатора *C*, неоновой лампы и источника питания.

На выходе такого генератора образуются пилообразные изменения напряжения, вызванные зарядом или разрядом конденсатора через сопротивление.

Если на вход схемы подать постоянное напряжение от источника питания, конденсатор C начнет заряжаться через сопротивление R. Величина напряжения на конденсаторе будет возрастать от нуля по кривой «заряд» графика фиг. 12 пропорционально времени. Во время заряда неоновая лампа ведет себя, как разомкнутый ключ или как очень малая емкость. Но после того как величина напряжения на конденсаторе достигнет величины, равной напряжению зажигания неоновой лампы $U_з$, лампа вспыхивает и ведет себя, как замкнутый ключ или очень небольшое сопротивление. Благодаря этому конденсатор начинает очень быстро разряжаться через неоновую лампу, пока напряжение на конденсаторе не упадет до напряжение погасания $U_г$ неоновой лампы. При этом лампа погаснет и будет вести себя как разомкнутый ключ. Конденсатор снова начнет заряжаться, и процесс повторится. В результате этого напряжение на конденсаторе C примет вид пилообразной кривой, что и показано на фиг. 12.



Фиг. 12. Изменение напряжения на конденсаторе в генераторе пилообразного напряжения с неоновой лампой.

Частота пилообразного напряжения при определенном напряжении зажигания $U_з$ неоновой лампы и напряжении источника $U_б$ определяется постоянной времени схемы, которая зависит от емкости C и сопротивления R. Изменяя величину сопротивления R и емкость конденсатора C, можно менять частоту неонового генератора развертки. Для определенных значений R и C частота f генератора может быть приблизительно определена по формуле

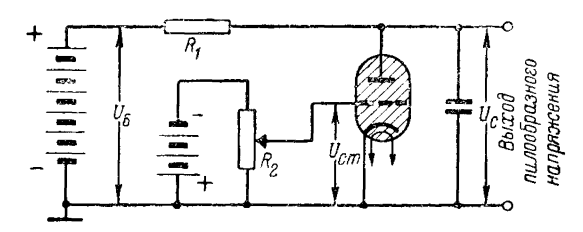
$$f \approx \frac{U_б}{RC(U_з - U_г)}.$$

Для получения диапазонного генератора емкость C выполняется в виде нескольких переключаемых конденсаторов, а плавным изменением сопротивления R достигается плавное изменение частоты генератора.

Недостатком этой схемы является то, что на процессы зажигания и гашения неоновой лампы уходит некоторое время, вследствие чего получение пилообразных напряжений выше нескольких килогерц с такой схемой невозможно. Кроме того, вследствие небольшой разности между напряжениями зажигания и гашения неоновой лампы амплитуда пилообразного напряжения незначительна.

Генератор развертки с тиратроном. Более совершенным генератором пилообразного напряжения является генератор с тиратроном.

Действие тиратрона аналогично действию неоновой лампы за исключением того, что в тиратроне напряжение



Фиг. 13. Тиратронный генератор пилообразного напряжения.

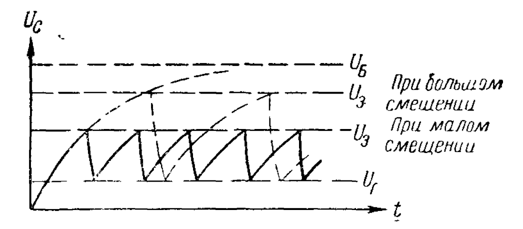
зажигания контролируется управляющей сеткой. Чем больше отрицательное напряжение на сетке тиратрона, тем выше его напряжение зажигания. Напряжение гашения тиратрона не зависит от потенциала на сетке. Тиратрон работает более стабильно, чем неоновая лампа, благодаря тому, что изменение напряжения питания сказывается слабее на его характеристике.

На фиг. 13 изображена схема тиратронного генератора пилообразного напряжения. Заряд и разряд конденсатора происходят так же, как и в генераторе с неоновой лампой. Амплитуда заряда конденсатора, а следовательно, и амплитуда пилообразного напряжения на выходе генератора зависит от смещения на сетке тиратрона. Изменяя напряжение на сетке тиратрона с помощью потенциометра R_2, можно менять амплитуду пилообразного напряжения на выходе. Напряжение смещения тиратрона обычно задается от отдельного источника напряжения.

Частоту тиратронного генератора можно менять с помощью изменения емкости и сопротивления R_1. Увеличение

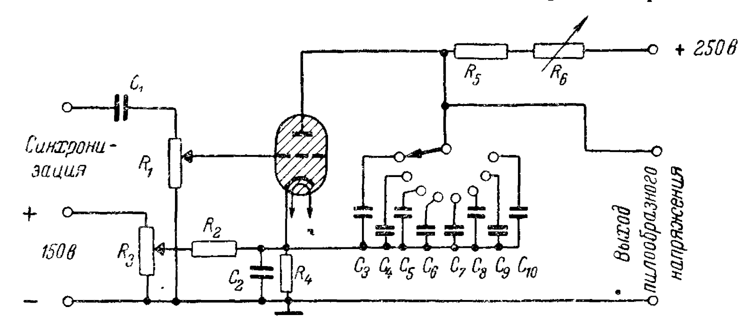
емкости конденсатора, сопротивления R_1 или напряжения смещения вызывает уменьшение частоты генератора.

На фиг. 14 изображен график изменения амплитуды и частоты тиратронного генератора при изменении сеточного смещения. Как видно из графика, возрастание пило-



Фиг. 14. Изменение частоты и амплитуды тиратронного генератора изменением сеточного смещения.

образного напряжения до максимума происходит нелинейно и следует по закону заряда конденсатора. Однако нижняя часть кривой достаточно линейна. Поэтому, если установить напряжение питания анода намного выше потенциала зажигания лампы, то на выходе можно получить при малом



Фиг. 15. Тиратронный генератор развертки.

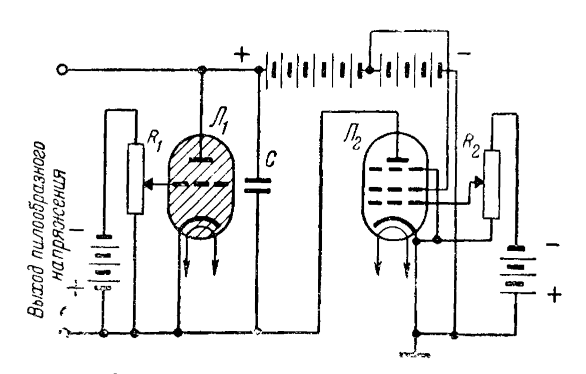
смещении на сетке линейное возрастание напряжения. Частота колебаний при этом значительно увеличивается.

На фиг. 15 представлена схема часто применяемого тиратронного генератора с широким диапазоном частот. Генератор собирается на тиратроне 884 или 885. Для получения широкого диапазона развертки применяется набор конденсаторов C_3—C_{10} и переменное сопротивление R_6.

Набор конденсаторов C_3—C_{10} служит для ступенчатого изменения частоты развертки. Плавная установка частоты развертки осуществляется переменным сопротивлением R_6. Общий диапазон развертки в данной схеме от 20 до 50 000 *гц*.

Отрицательное смещение на сетку тиратрона создается падением напряжения на сопротивлении R_3 от отдельного источника напряжения.

Для повышения линейности напряжения развертки применяется тиратронный генератор, в котором зарядное со-



Фиг. 16. Тиратронный генератор с разрядной лампой.

противление заменяется пентодом. Пентод работает в таком режиме, когда его анодный ток остается постоянным в некоторых пределах изменения анодного напряжения. Схема такого генератора изображена на фиг. 16.

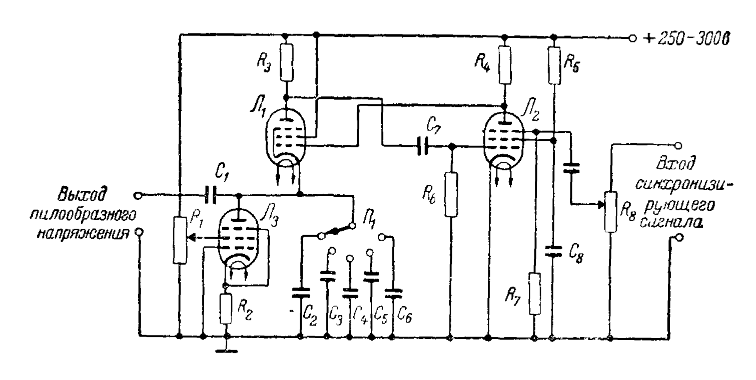
Ток заряда конденсатора *C* проходит через пентод $Л_2$. Напряжение на конденсаторе зависит от его емкости и величины его заряда. Если ток заряда не изменяется по величине, то и напряжение на конденсаторе *C* будет нарастать линейно, так как в течение равных промежутков времени добавляются равные заряды.

Частота такого генератора изменяется при помощи изменения величины емкости конденсатора *C* и изменения смещения на сетке пентода $Л_2$, что равносильно изменению сопротивления.

Тиратронный генератор имеет ряд преимуществ перед генератором с неоновой лампой: благодаря тому что падение напряжения на тиратроне значительно меньше, он

может пропускать больший мгновенный ток, гашение тиратрона происходит быстрее, а зажигание устойчивее, благодаря чему частота тиратронного генератора более устойчива. Поскольку тиратрон пропускает больший мгновенный ток и быстро гаснет, то конденсатор разряжается быстрее, что дает возможность получить более высокую частоту развертки.

Схема мультивибратора. Третьей схемой, применяемой для генераторов развертки, является схема мультивибратора. Мультивибратором обычно называют генератор



Фиг. 17. Схема мультивибратора для получеия напряжения и развертки.

с резко несинусоидальной формой кривой анодного и сеточного токов. На фиг. 17 приведена часто применяемая схема такого типа.

При включении напряжения питания анодный ток лампы $Л_1$ будет заряжать один из конденсаторов, например C_2, включенный в цепь катода лампы переключателем $П_1$. Кроме того, часть этого тока будет проходить через лампу $Л_3$.

Напряжение заряда конденсатора C_2 создает отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$. В то же время на сетку лампы $Л_1$ задается положительное смещение за счет падения напряжения на участке анод — катод лампы $Л_2$ при прохождении через нее анодного тока. Таким образом, смещение на сетке лампы $Л_1$ равно разности между падением напряжения на конденсаторе C_2 и падением напряжения на участке анод — катод лампы $Л_2$.

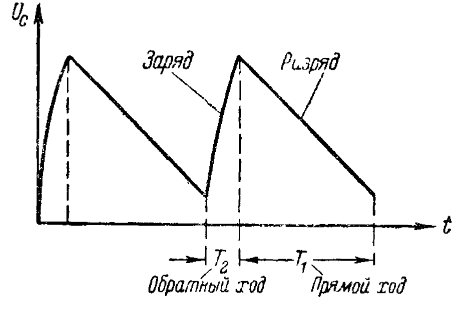
В первый момент после включения питания, напряжение на конденсаторе C_2 равно нулю, а положительное смещение сравнительно велико. Поэтому анодный ток лампы $Л_1$ будет большим и заряд конденсатора C_2 будет происходить весьма быстро. При возрастании заряда конденсатора C_2 растет отрицательное смещение на сетке лампы $Л_2$; это ведет к тому, что результирующее смещение сначала начинает падать, доходит до нуля и по мере возрастания напряжения на конденсаторе C_2 становится отрицательным. Заряд конденсатора C_2 продолжается до тех пор, пока напряжение на его обкладках становится равным напряжению источника питания. Вместе с этим растет и отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$. В конце заряда конденсатора C_2 отрицательное смещение будет настолько большим, что лампа $Л_1$ будет заперта, а конденсатор C_7 зарядится до напряжения источника питания. Когда анодный ток лампы $Л_1$ прекращается, начинается разряд конденсатора C_2 через лампу $Л_3$, как через большое сопротивление. Анодный ток этой лампы, проходя через сопротивление R_2, создает на нем падение напряжения, которое используется для создания отрицательного смещения на сетке лампы $Л_3$. За счет этого отрицательного смещения сопротивление лампы $Л_3$ растет, что ведет к уменьшению скорости разряда конденсатора C_2. По мере разряда конденсатора C_2 отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$ уменьшается и лампа отпирается и начинается разряд конденсатора C_7 через эту лампу, лампу $Л_3$ и сопротивление R_6. При разряде конденсатора C_7 на сопротивлении R_6 появляется падение напряжения, которое создает отрицательное смещение на сетке лампы $Л_2$, что ведет к снижению анодного тока лампы $Л_2$ и увеличению падения напряжения на участке анод — катод этой лампы. Это в свою очередь ведет к тому, что положительное смещение на сетке лампы $Л_1$ начинает возрастать. А так как отрицательное смещение на сетке лампы $Л_1$ по мере разряда конденсатора C_2 уменьшается, то результирующее смещение на сетке лампы $Л_1$ становится положительным. Это вызывает дальнейшее повышение анодного тока лампы $Л_1$ и повышение анодного напряжения лампы $Л_2$.

До тех пор, пока величина анодного тока лампы $Л_1$, который заряжает конденсатор C_2, будет оставаться меньше тока разряда конденсатора C_2, он будет продолжать разряжаться. Когда анодный ток лампы $Л_1$ станет больше

тока разряда конденсатора C_2 он начнет снова заряжаться.

Заряд конденсатора C_2 вызовет снижение положительного смещения на сетке лампы $Л_1$ и затем переход к отрицательному смещению. Отрицательное смещение будет расти до тех пор, пока лампа $Л_1$ не запрется. В этот момент напряжения на конденсаторах C_2 и C_7 будут максимальными и равными напряжению источника питания.

После этого начнется снова разряд конденсатора C_2 через лампу $Л_3$. Процесс повторяется периодически. Напряжение, образующееся на конденсаторе C_2, при таком процессе имеет форму пилы, как показано на фиг. 18, и может быть использовано для развертки.



Фиг. 18. Форма кривой пилообразного напряжения мультивибратора.

Время разряда конденсатора через лампу $Л_3$ определяет прямой ход развертки, время заряда — обратный ход.

Длительность заряда и разряда конденсатора определяются емкостью включенного конденсатора и внутренним сопротивлением лампы $Л_3$.

Меняя при помощи переключателя $П_1$ величину емкости, можно скачком менять частоту генерации. Меняя плавно с помощью потенциометра R_1 экранное напряжение лампы $Л_3$, следовательно и ее внутреннее сопротивление, можно менять время разряда конденсатора, что дает плавное изменение частоты развертки.

Вместо лампы $Л_3$ можно применять и обычное сопротивление, однако применение лампы дает возможность получить хорошую равномерность развертки на всех частотах. Это объясняется тем, что в пентодах анодный ток не зависит от анодного напряжения и определяется напряжением на экранной сетке. Приведенная схема генератора развертки обеспечивает широкий диапазон частот развертки, от 5—10 *гц* до 150—200 *кгц*, хорошую равномерность развертки и малый по времени обратный ход.

При исследовании напряжений высокой частоты частота развертки также должна быть достаточно высокой. С уве-

личением же частоты развертки относительно растет и время заряда конденсатора, определяющее обратный ход. Время обратного хода занимает уже значительную часть периода исследуемого напряжения. Для того чтобы затемнить обратный ход, заряжающий импульс подается на управляющий электрод электронно-лучевой трубки в обратной фазе, что приводит к тому, что количество электронов в луче в момент заряда конденсатора становится небольшим и след луча на экране практически незаметным.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ РАЗВЕРТКИ

Для получения неподвижного изображения на экране осциллографа период сигналов развертки должен быть равен или меньше в целое число раз периода исследуемого колебания.

Если длительность обоих периодов будет несколько отличаться, то изображение на экране осциллографа будет медленно передвигаться. Скорость этого передвижения будет зависеть от разности частот развертки и исследуемого сигнала.

Движение изображения на экране очень нежелательно, так как при этом затрудняется наблюдение за изображением.

Описанные выше генераторы развертки имеют низкую устойчивость частоты, благодаря чему получение неподвижного изображения на экране затруднено.

Для устранения этого недостатка применяется синхронизация частоты генератора с частотой исследуемого напряжения или с частотой какого-либо постороннего стабильного источника напряжения. Синхронизация частоты тиратронного генератора достигается тем, что в цепь сетки тиратрона кроме постоянного напряжения смещения последовательно с ним подается часть исследуемого напряжения или постороннее напряжение стабильной частоты (например, от сети переменного тока 50 *гц*).

Способ подачи синхронизирующего напряжения для генератора развертки на тиратроне показан на фиг. 15.

Благодаря синхронизации генератор развертки вынужден будет работать точно с таким же периодом, как и исследуемый сигнал, что вызовет устойчивость изображения на экране. Таким же образом тиратронный генератор может быть увлечен частотой синхронизации в несколько раз

(практически до 10 раз) большей частоты пилообразного напряжения, что дает возможность получать неподвижное изображение нескольких периодов исследуемого колебания.

Для схемы фиг. 17 синхронизирующее напряжение (часть исследуемого напряжения) подается на пентодную сетку лампы $Л_2$. Мультивибратор может синхронизироваться с частотой исследуемого напряжения на своей основной частоте или на 2-й, 3-й и т. д. гармонике. В соответствии с этим на осциллографе будут наблюдаться два, три и т. д. периода исследуемого напряжения.

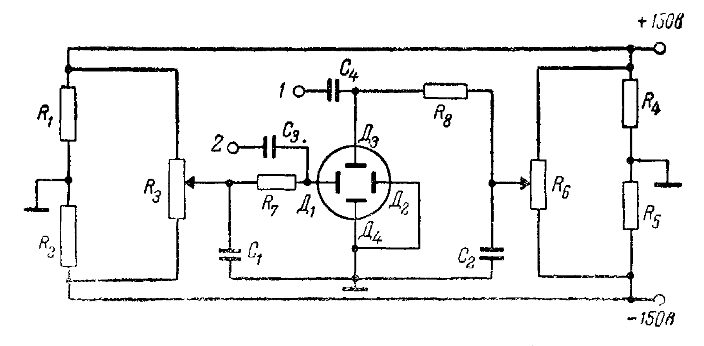
В некоторых случаях бывает необходимо синхронизировать генератор развертки не частотой исследуемого напряжения, а посторонним источником напряжения устойчивой частоты или сетью переменного тока. Для этой цели осциллографы, как правило, снабжаются переключателем рода синхронизации и зажимами для подключения внешнего источника напряжения синхронизирующей частоты, Синхронизация сетью переменного тока осуществляется переключателем рода синхронизации внутри осциллографа (переменное напряжение 50 *гц* берется с обмотки накала ламп силового трансформатора).

РЕГУЛИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЭКРАНЕ

Для центрирования светового пятна, а также для перемещения изображения на экране осциллографа применяется регулировка вертикального и горизонтального перемещения пятна.

Эта регулировка осуществляется путем подачи постоянного напряжения к отклоняющим пластинам. Подача постоянного напряжения на вертикальные пластины смещает изображение вверх и вниз, подача постоянного напряжения на горизонтальные пластины — вправо и влево. Для электронно-лучевых трубок, в которых одна из каждой пары пластин соединяется со вторым анодом и заземляется, для регулировки положения изображения на экране применяется схема, приведенная на фиг. 19.

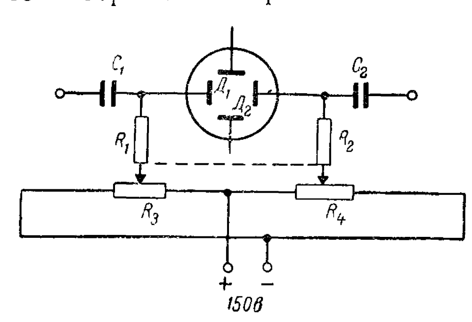
Сопротивления R_1, R_2, R_4 и R_5 представляют собой делители напряжения, с которых снимается смещающее напряжение. Переменные сопротивления R_3 и R_6 служат для плавного перемещения изображения по экрану. Эти сопротивления включаются так, чтобы один из их концов был положителен относительно земли, а другой отрицателен.



Фиг. 19. Схема регулировки положения изображения для электронно-лучевой трубки с заземленными пластинами. 1—к усилителю вертикального отклонения; 2—к усилителю горизонтального отклонения.

Если напряжения, подаваемые на сопротивления R_3 и R_6, одинаковы, то нуль напряжения будет при среднем положении движков этих сопротивлений. В этом случае луч попадает в центр экрана.

Если движки сопротивлений R_3 и R_6 переставить вверх, то изображение переместится влево под действием пластины $Д_1$ и вверх под действием пластины $Д_3$. Если же движки сопротивлений R_3 и R_6 переставить ниже нулевой точки, то на пластинах $Д_1$ и $Д_3$ окажутся некоторые отрицательные напряжения, которые соответственно сместят луч вправо и вниз. Так как сопротивления R_3 и R_6 независимы, то, подбирая ими напряжения на пластинах $Д_1$ и $Д_3$, можно передвигать пятно, а следовательно и изображение в любую точку экрана.



Фиг. 20. Схема регулировки положения изображения для трубок, не имеющих заземленных пластин.

Исследуемое напряжение и напряжение генератора развертки подводятся к пластинам через конденсаторы C_3 и C_4. Конденсатор C_1 и сопротивление R_7 и аналогичные им C_2

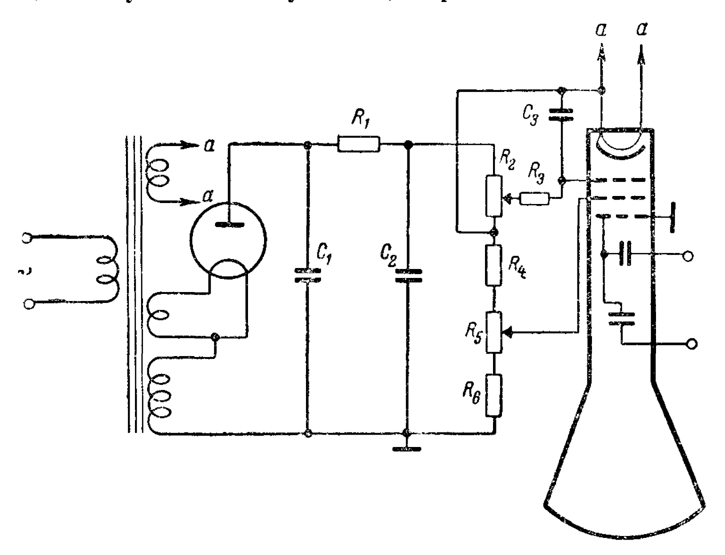
и R_8 образуют фильтр, необходимый для того, чтобы изображение оставалось неподвижным при пульсации питающего напряжения.

Если одна из каждой пары отклоняющих пластин не заземлена, то применяется схема регулировки перемещения, приведенная на фиг. 20 (показано для одной пары пластин). Переменные сопротивления R_3 и R_4 спарены. При установке движков этих сопротивлений в среднее положение постоянное напряжение на обеих пластинах равно нулю. При перемещении движков сопротивлений влево на пластине $Д_1$ появится отрицательное напряжение, а на пластине $Д_2$ положительное и луч отклонится вправо. При перемещении же движков от нуля вправо луч переместится влево. Перемещение луча по вертикали производится по точно такой же схеме.

РЕГУЛИРОВКА ФОКУСА И ЯРКОСТИ

Для фокусировки светового пятна на экране в точку необходимо изменять в некоторых пределах напряжение на первом аноде электронно-лучевой трубки.

Яркость пятна, а следовательно, и изображения на экране, как уже было указано, определяется количеством



Фиг. 21. Схема регулировки фокуса и яркости.

электронов в электронном луче и может регулироваться изменением смещения на управляющий электрод.

На фиг. 21 приведена схема регулировки фокуса и яркости. Для изменения напряжения на первом аноде при регулировке фокуса используется переменное сопротивление R_5. Для изменения смещения на управляющем электроде и обеспечения необходимой яркости изображения на экране используется переменное сопротивление R_2.

УСИЛИТЕЛИ ВЕРТИКАЛЬНОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Для наблюдения напряжений, имеющих небольшие амплитуды, осциллографы монтируются вместе с усилителями горизонтального и вертикального отклонения.

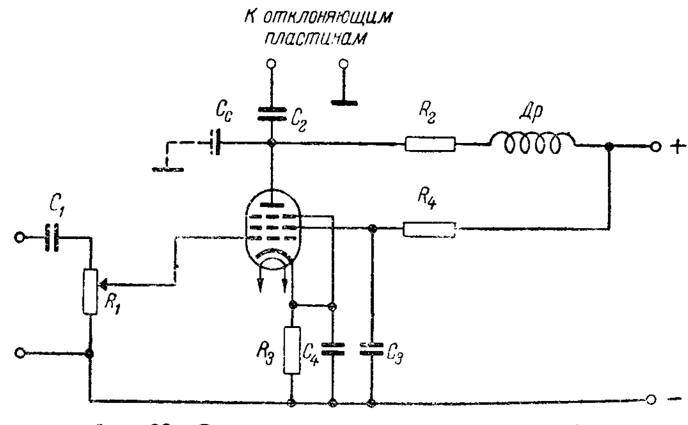
К усилителям для осциллографов предъявляются довольно жесткие требования. Прежде всего усилитель для осциллографа должен точно воспроизводить форму кривой исследуемого напряжения. Поэтому усилитель должен быть широкополосным, пригодным как для усиления синусоидальных напряжений, так и для напряжений сложной формы, содержащих много частотных составляющих.

Форма кривой исследуемого напряжения сохранится в том случае, если амплитудные и фазовые соотношения между частотными составляющими на выходе усилителя будут теми же, что и на его входе. Чтобы избежать искажений за счет кривизны характеристик ламп, усилитель должен работать так, чтобы при всех изменениях напряжения на входе изменения анодного тока происходили только на линейном участке характеристики. Входное сопротивление усилителя должно быть достаточно высоким для того, чтобы он не влиял на исследуемую цепь. Обычно входное сопротивление усилителя бывает порядка 0,5—0,6 *мгом* и выше. Для исследований напряжений с большой амплитудой на входе усилителя должен быть делитель напряжения. Паразитные емкости входа усилителя должны быть незначительны, иначе они будут ослаблять высокочастотные составляющие исследуемого напряжения и форма его кривой будет искажена. Коэффициент усиления усилителей для простых осциллографов бывает порядка 40—100, а полоса равномерного усиления в зависимости от схемы простирается от 5—10 *гц* до 150—200 *кгц*.

На фиг. 22 показана схема усилителя на сопротивлениях. В качестве усилительной лампы применен пентод.

Исследуемое напряжение подается на сетку усилительной лампы через разделительный конденсатор C_1 и делитель напряжения R_1. Смещение на сетку усилительной лампы снимается с сопротивления R_3 в цепи катода лампы. Сопротивление R_2 служит анодной нагрузкой лампы; с него снимается усиленное напряжение на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки через конденсатор C_2.

Знаком C_c обозначены междуэлектродные и паразитные емкости. На высоких частотах эти емкости оказывают



Фиг. 22. Схема усилителя для осциллографа.

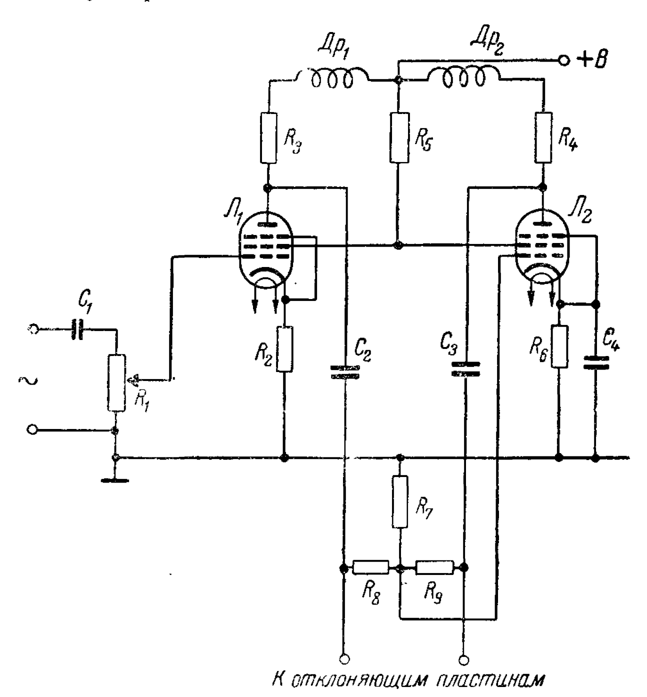
шунтирующее действие и уменьшают усиление. Для компенсации шунтирующего действия емкости C_c, в анодную цепь лампы включен дроссель *Др,* сопротивление которого увеличивается на высоких частотах. Благодаря этому во всем диапазоне усиливаемых напряжений сохраняется постоянное усиление.

Иногда для повышения чувствительности осциллографа к слабым напряжениям применяется двух и более каскадные усилители, однако частотная коррекция таких усилителей очень сложна.

Для электронно-лучевых трубок, у которых отклоняющие пластины не соединяются с землей или со вторым анодом, как, например, ЛО-729, требуется симметричный выход с вертикального усилителя. При этом сигнал к противоположным пластинам должен быть подан в противофазе. В качестве такого усилителя часто применяется

схема, изображения на фиг. 23, дающая симметричный выход без предварительного инвертера.

В этой схеме лампа $Л_1$ служит усилителем исследуемого напряжения. Усилитель имеет отрицательную обратную связь по току, так как сопротивление R_2 в цепи катода не шунтировано емкостью. Это дает возможность



Фиг. 23. Схема усилителя с фазовым инвертером.

подавать на сетку лампы $Л_1$ повышенное переменное напряжение. Усиленное напряжение снимается с анодной нагрузки R_3, подается через конденсатор C_2 к одной из отклоняющих пластин и, кроме того, проходит через сопротивления R_8 и R_7. По форме оно одинаково с подведенным к сетке напряжением, но противоположно ему по знаку. На сетку лампы $Л_2$ фазового инвертера снимается напряжение с сопротивления R_7. Переменное напряжение, снимаемое с анодной нагрузки лампы $Л_2$, проходит через конденсатор C_3, подается на вторую отклоняющую пла-

стину в фазе, противоположной напряжению, снимаемому с анодной нагрузки лампы $Л_1$. Сопротивления R_7, R_8 и R_9 выбираются с таким расчетом, чтобы переменное напряжение, снимаемое с сопротивления R_7 на сетку лампы $Л_2$, было равно действующему между сеткой и катодом лампы $Л_1$ переменному напряжению. Это напряжение равно измеряемому напряжению, снимаемому с сопротивления R_1, минус напряжение обратной связи с сопротивления R_2. Так как режимы работы обеих ламп одинаковы, то на противоположные отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки прикладываются напряжения, равные по величине, но противоположной полярности.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ КОЛОДКА

Так как частотные характеристики усилителей осциллографа равномерны только до частот 150—200 *кгц*, то при необходимости наблюдения на экране осциллографа формы кривых напряжения более высоких частот исследуемое напряжение необходимо включить через разделительный конденсатор непосредственно на отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки.

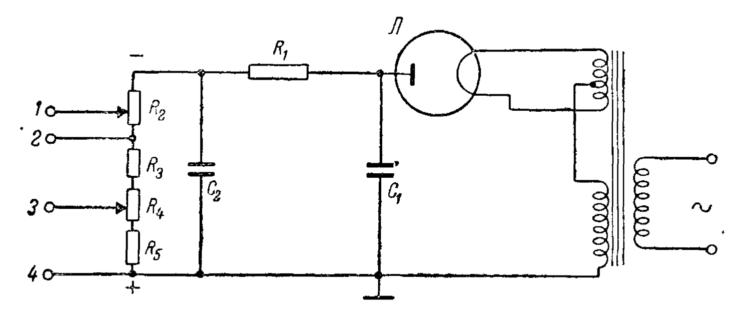
Для непосредственного подключения исследуемого напряжения на отклоняющие пластины служит распределительная колодка (фиг. 1). При работе с внутренними усилителями перемычки $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ и $Д_4$ должны быть включены. При работе с использованием внутренней развертки отключаются перемычки $Д_1$ и $Д_2$ и исследуемое напряжение подается на зажимы колодки, подключенные к вертикально-отклоняющим пластинам.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

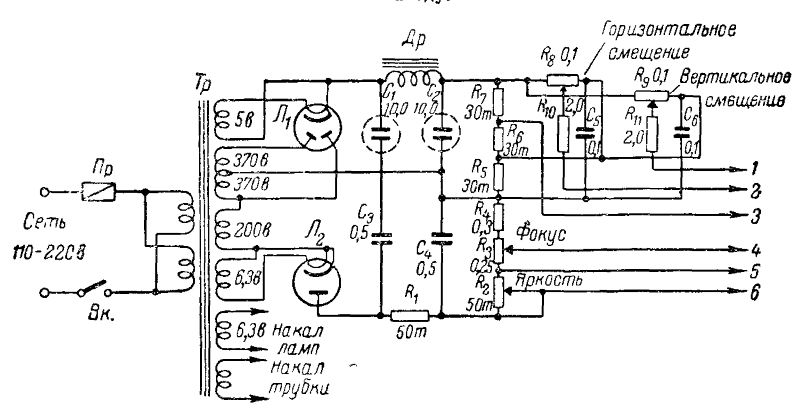
Для питания ламп усилителей и генератора развертки в электронно-лучевых осциллографах могут быть применены выпрямители, обычно употребляемые для питания радиоприемников. Для питания же ускоряющего анода электронно-лучевой трубки требуется высокое напряжение, чтобы получить большие скорости электронов. Так как на ускоряющий анод попадает небольшое число электронов, то от источника питания требуется небольшой ток и выпрямитель может быть собран на маломощном, но высоковольтном кенотроне, например, типа 879 или 2X2.

Одна из схем выпрямителя для питания электронно-лучевых трубок с анодным напряжением до 2 000 *в* показана

на фиг. 24. Выпрямитель собран на однополупериодном кенотроне типа 2Х2. Однополупериодное выпрямление дает вполне удовлетворительные результаты, так как малый



Фиг. 24. Высоковольтный выпрямитель для питания осциллографа.
1—к управляющему электроду; 2—к катоду; 3—к первому аноду; 4—ко второму аноду.



Фиг. 25 Блок питания осциллографа с высоким напряжением до 1 000 *в*.
1—к вертикально-отклоняющим пластинам; 2—к горизонтально-отклоняющим пластинам; 3—ко второму аноду; 4—к первому аноду; 5—к катоду трубки; 6—к управляющему электроду.

потребляемый ток незначительно разряжает конденсаторы фильтра. Фильтр может состоять только из емкости C_2 и сопротивления R_1 или даже из одной емкости C_1.

Высоковольтный выпрямитель для питания электроннолучевой трубки работает на потенциометр, состоящий из сопротивлений R_2, R_3, R_4 и R_5, с которых снимаются напряжения на электроды трубки.

Второй ускоряющий анод трубки обычно заземляется, а другие электроды трубки делаются отрицательными относительно земли.

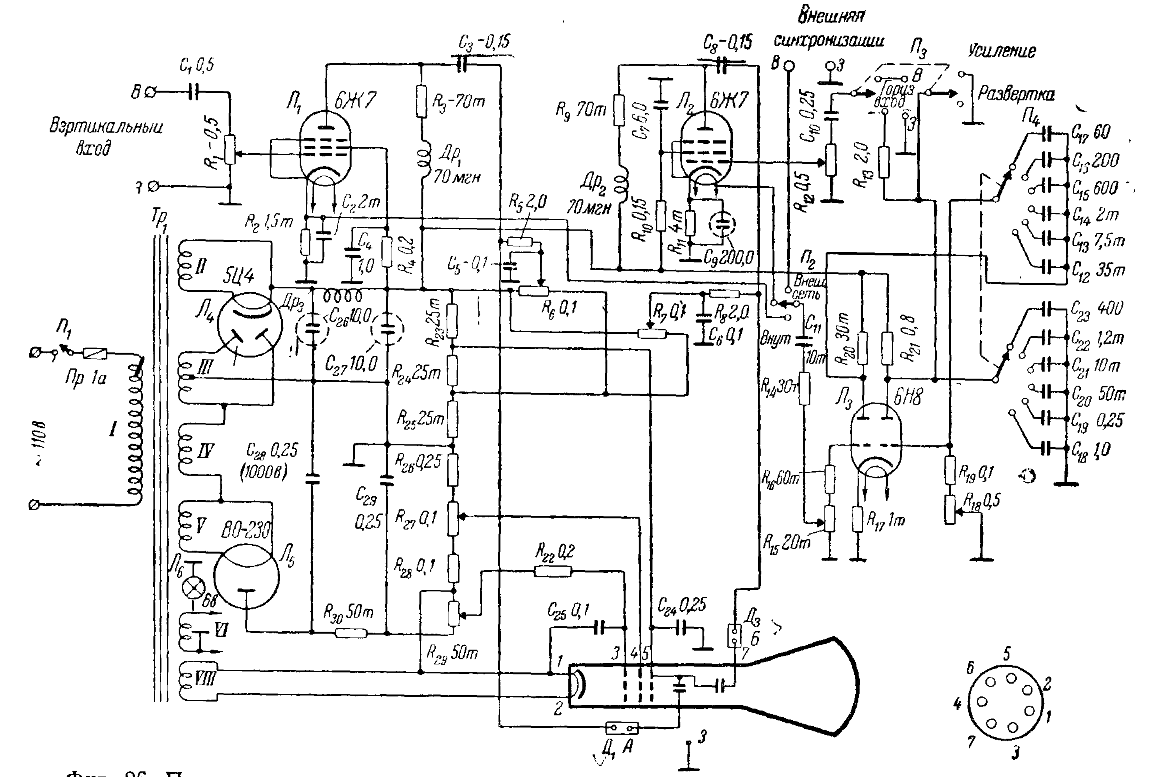
Чтобы избежать дефокусировки электронного луча, отклоняющие пластины имеют потенциал, очень близкий к потенциалу анода. Низкий потенциал отклоняющих пластин относительно земли предохраняет также от появления высокого напряжения на входных клеммах осциллографа при подаче исследуемого напряжения непосредственно на пластины трубки.

Для электронно-лучевых трубок, работающих с низким анодным напряжением, применяется схема питания, приведенная на фиг. 25. Здесь кенотрон $Л_1$ используется для питания усилителей и генератора развертки. Кенотрон $Л_2$ служит для получения дополнительного напряжения, необходимого для питания второго анода электронно-лучевой трубки.

ПОЛНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Мы разобрали назначение и схемы отдельных элементов осциллографа. Перейдем теперь к полной схеме электронно-лучевого осциллографа и обратимся к фиг. 26, на которой изображена принципиальная схема осциллографа с электронно-лучевой трубкой типа 906 или 908 (диаметр экрана 76 *мм*). Отличие трубки типа 908 от трубки типа 906 заключается только в цвете экрана. Трубка типа 906 имеет зеленый экран. Трубка типа 908 — синий.

Усилители вертикального и горизонтального отклонения собраны на лампах типа 6Ж7 и по схеме совершенно одинаковы. На сетку лампы $Л_1$ усилителя вертикального отклонения исследуемое напряжение подается через разделительный конденсатор C_1 и делитель напряжения R_1, который служит для регулировки напряжения, подаваемого на сетку. Сопротивление R_2 и конденсатор C_2 служат для получения отрицательного смещения на сетку лампы 6Ж7. Анодной нагрузкой лампы $Л_1$ служит сопротивление R_3. Дроссель $Др_1$ используется для выравнивания частотной характеристики усилителя в диапазоне высших частот. Высокое напряжение на экранную сетку подается через сопротивление R_4, заблокированное конденсатором C_4. Усиленное исследуемое напряжение через конденсатор C_3



Фиг. 26. Принципиальная схема электронно-лучевого осциллографа с электронно-лучевой трубкой типа 906.

подается на вертикально-отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. На горизонтально-отклоняющие пластины напряжение подается с усилителя горизонтального отклонения через конденсатор C_8.

При положении «усиление» переключателя $П_3$ на вход усилителя горизонтального отклонения может быть подано напряжение с зажимов $В$ — $З$ горизонтального входа. При положении «развертка» на вход усилителя подводится пилообразное напряжение от генератора развертки. Генератор развертки собран на лампе 6Н8 Пилообразное напряжение развертки в генераторе получается следующим образом. В момент включения анодного напряжения конденсатор C_{17} быстро заряжается через сопротивления R_{20}, промежуток сетка — катод правого триода лампы 6Н8 и сопротивление R_{17}. Зарядный ток конденсатора C_{17} создает падение напряжения на сопротивлении R_{17}, которое запирает правый триод. Когда триод заперт, напряжение на его аноде возрастает, благодаря чему через сопротивление R_{21} начинает заряжаться конденсатор C_{23} до напряжения, близкого к напряжению источника. В то же время конденсатор C_{17} начинает медленно разряжаться через промежуток анод — катод левого триода и сопротивления R_{17}, R_{18} и R_{19}. Разрядный ток конденсатора C_{17} создает падение напряжения на сопротивлениях R_{18} и R_{19}, которое задает дополнительное отрицательное смещение на сетку правого триода. Когда конденсатор C_{17} разрядится, правый триод отопрется, напряжение на его аноде упадет и конденсатор C_{23} начнет разряжаться через правый триод и сопротивление R_{17}. Разрядный ток конденсатора C_{23} создает на сопротивлении R_{17} дополнительное падение напряжения, которое задает отрицательное смещение на сетку левого триода. Анодный ток левого триода уменьшается, а напряжение на его аноде возрастает, конденсатор C_{17} снова заряжается. Когда конденсатор C_{17} зарядится, а конденсатор C_{23} разрядится, правый триод опять окажется запертым и процесс будет периодически повторяться. Частота напряжения развертки определяется емкостью конденсатора C_{17} и величиной сопротивлений R_{18} и R_{19}.

Если конденсатор C_{17} заменить группой конденсаторов $C_{12} \div C_{17}$ и переключать их, как это показано на схеме, то мы получим изменение частоты напряжения развертки ступенями. Плавное же изменение частоты напряжения

развертки в пределах каждой ступени осуществляется переменным сопротивлением R_{18}.

Напряжение развертки снимается с анода правого триода и подается через сопротивление R_{13} на вход горизонтального усилителя, усиливается, подводится к горизонтально-отклоняющим пластинам трубки и используется для получения оси времени на экране трубки.

В схеме предусмотрены три вида синхронизации частоты напряжения развертки — внутренняя, внешняя и от питающей сети. Синхронизирующее напряжение подается на управляющую сетку левого триода лампы 6Н8. Величина синхронизирующего напряжения регулируется потенциометром R_{15}. Вид синхронизации выбирается переключателем $П_2$. В положении «Внутр.» синхронизация осуществляется исследуемым напряжением, которое снимается с сопротивления R_2 в цепи катода лампы 6Ж7 вертикального усилителя. В положении «Внешн.» синхронизация осуществляется от внешнего источника переменного напряжения, подводимого к клеммам «Внешняя синхр.». При положении «Сеть» синхронизирующее напряжение снимается с цепи накала лампы 6Ж7 или с накальной обмотки трансформатора.

Питание осциллографа осуществляется от сети переменного тока с напряжением 110 или 220 *в* через силовой трансформатор $Тр_1$. Высокое напряжение для питания ламп и электронно-лучевой трубки снимается с двух выпрямителей, включенных последовательно. Первый выпрямитель собран по двухполупериодной схеме на кенотроне 5Ц4С, второй выпрямитель — однополупериодный на лампе ВО-230.

Напряжение, снимаемое с выпрямителей, подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений R_{23} — R_{29}.

С переменного сопротивления R_{29} снимается напряжение на управляющий электрод трубки через развязывающий фильтр R_{22}, C_{25}. Изменением величины напряжения на управляющем электроде с помощью движка сопротивления R_{29} регулируется яркость пятна на экране.

С переменного сопротивления R_{27} снимается напряжение на первый анод трубки. Это сопротивление служит для фокусировки пятна. Напряжение на второй анод снимается с сопротивлений R_{24}, R_{25}, R_{26}, R_{27}, R_{28} и R_{29}.

Смещение пятна по вертикали осуществляется с помощью переменного сопротивления R_6. При изменении положения ползунка сопротивления R_6 меняется величина и знак постоянного напряжения, подаваемого на вертикально-отклоняющие пластины через фильтр R_5 — C_5. Для смещения пятна по горизонтали используется переменное сопротивление R_7. Напряжение на горизонтальные пластины подается через фильтр R_8—C_6.

Диапазон частот равномерно усиливаемых обоими усилителями данного осциллографа 30 *гц* — 100 *кгц*. Диапазон частот генератора развертки 10 *гц* — 20 *кгц*. Входное сопротивление усилителей 0,5 *мгом*. Чувствительность осциллографа с использованием усилителей равна 12—15 *мм* на 1 *в*.

В случае необходимости исследования напряжения с частотой выше 100 *кгц* исследуемое напряжение может быть подано непосредственно на отклоняющие пластины. Для этой цели снимаются перемычки $Д_1$ и $Д_3$ и исследуемое напряжение подается на клеммы *А* — *З* или *Б* — *З*.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФОВ

Конструирование осциллографа следует начинать с выбора электронно-лучевой трубки. Для осциллографа общего применения рекомендуется применять трубки типа 906 или ЛО-729.

После выбора трубки следует выбрать схему блока питания. Простой схемой блока питания является схема, приведенная на фиг. 25. В качестве кенотрона для двухполупериодного выпрямителя рекомендуется применять лампы 5Ц4С и 6Х5. В качестве кенотрона для однополупериодного выпрямителя могут применяться лампы 5Ц4С, 6Х5 с параллельно включенными анодами и лампа ВО-230 — одноанодный кенотрон.

Напряжение двухполупериодного выпрямителя должно быть порядка 320—370 *в*. Дополнительная обмотка однополупериодного выпрямителя должна давать 200—270 *в*.

Общее сопротивление делителя напряжения, с которого снимаются необходимые для электронно-лучевой трубки напряжения, следует выбирать не менее 0,5 *мгом*. Сопротивление, с которого снимается напряжение на управляющий электрод, обычно берется порядка 50 000 *ом*. Регулировка горизонтального и вертикального перемещения

осуществляется для трубки типа 906 по схеме фиг. 19, для трубки ЛО-729 — по схеме фиг. 20.

Выбор схемы усилителя вертикального отклонения также зависит от выбора трубки. Для трубки типа 906 усилитель может быть собран на одной лампе 6Ж7 или 6АС7. Для трубки типа ЛО-729 требуется усилитель с инвертером.

Усилитель горизонтального отклонения также может быть собран на лампах 6Ж7 или 6АС7. Разделительные конденсаторы на входе усилителей должны иметь емкость 0,2—0,25 *мкф*. Делители напряжения должны быть линейными, величина сопротивления должна быть порядка 0,5 *мгом*.

Наиболее сложным является выбор схемы генератора развертки.

Простейшим генератором является генератор на неоновой лампе, однако он имеет плохую форму пилообразного напряжения. Хорошие результаты дает схема с тиратроном 884 или 885 с разрядной лампой типа 6Ж7 или 6АС7. Схемы мультивибраторов более сложны, зато они дают хорошую форму пилообразного напряжения и широкий диапазон частоты развертки.

После выбора схемы генератора развертки отрабатывают схему коммутации. Сюда входят элементы переключения входа и выхода горизонтального усиления, переключение частоты генератора развертки, переключение синхронизации и распределительная колодка, которую можно заменить переключателем, позволяющим подключать входные зажимы осциллографа либо к усилителю, либо непосредственно к отклоняющим пластинам.

После выбора и отработки принципиальной схемы следует продумать конструкцию, размещение ламп и деталей и монтаж осциллографа.

Обычно электронно-лучевые осциллографы общего применения конструктивно оформляются в виде прямоугольного шасси, изготовленного из листовой стали толщиной 0,8—1 *мм*. На шасси и под ним размещаются лампы и детали, не требующие доступа к ним во время работы с осциллографом. Над шасси на кронштейнах укрепляется панель трубки и сама трубка, заключенная, как правило, во избежание электромагнитных наводок в железный экран. К шасси прикрепляется передняя панель из листового железа. Края передней панели имеют небольшие

борта, придающие жесткость передней панели и служащие для крепления передней панели к кожуху. Кожух выполняется из листовой стали толщиной 0,5—0,8 *мм.* На передней панели размещаются органы управления осциллографом и входные зажимы усилителей вертикального и горизонтального отклонения и внешней синхронизации. Кроме того, на передней панели делается круглое отверстие против экрана трубки. Это отверстие имеет с передней стороны обрамление, а внутри резиновое или войлочное кольцо для предохранения трубки от повреждения. Примерное размещение органов управления на передней панели показано на фиг. 27.

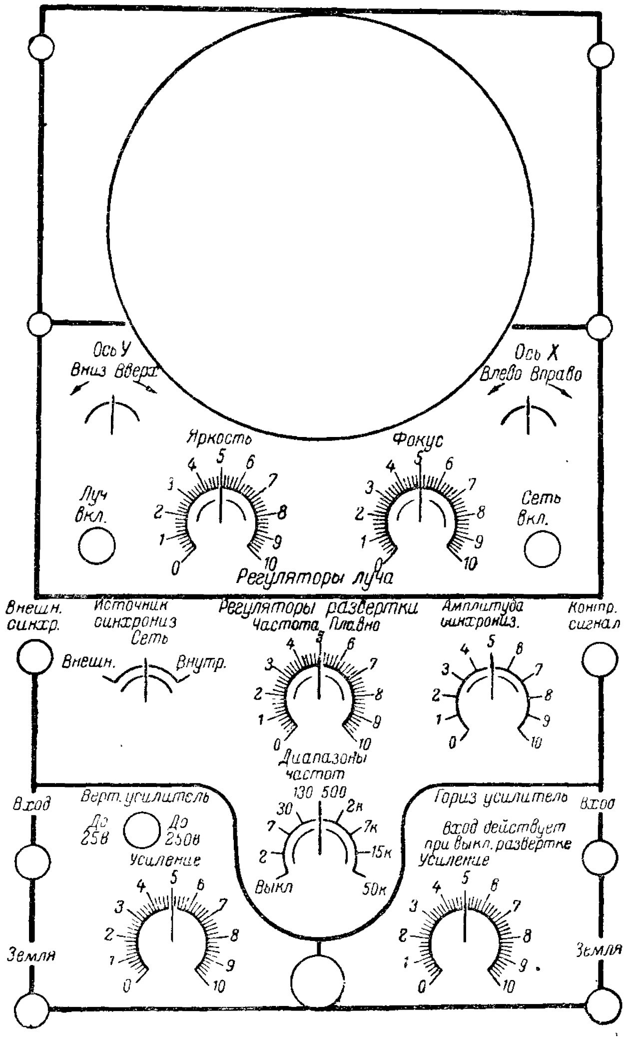
Распределительная колодка при ее наличии помещается около панели трубки. Доступ к ней осуществляется через отверстие на задней стенке кожуха.

Размещение ламп и деталей на шасси и передней панели должно быть таким, чтобы монтаж осциллографа можно было выполнять короткими проводами. Силовой трансформатор желательно поместить в железный экран. Детали генератора развертки должны быть удалены от сеточных цепей усилителей и проводов, идущих к отклоняющим пластинам трубки.

Налаживание осциллографа следует начинать с проверки правильности монтажа. Убедившись, что монтаж выполнен без ошибок, следует проверить работу низковольтного выпрямителя. Для этого на осциллограф подается питание и проверяется напряжение на выходе выпрямителя. Для проверки необходимо иметь вольтметр постоянного тока до 500 *в.*

После этого проверяется высоковольтный выпрямитель. Для измерения напряжения высоковольтного выпрямителя необходимо применять вольтметр с высоким входным сопротивлением порядка 1 *мгом*, в противном случае можно получить неверные результаты.

После проверки выпрямителя следует проверить режим работы электронно-лучевой трубки и работу регуляторов фокуса и яркости. Действие регуляторов фокуса и яркости проверяется путем измерения изменения напряжения на первом аноде и управляющем электроде при вращении ручек «Фокус» и «Яркость». Затем проверяется напряжение на втором аноде. Измерение напряжений на электродах трубки следует производить относительно катода.



Фиг. 27. Размещение огранов управления на передней панели осциллографа.

Проверка схемы перемещения пятна на экране производится при медленном вращении ручек «вертикальное перемещение» и «горизонтальное перемещение». Корректировку схемы перемещения пятна следует производить следующим образом. Поставив ручки регуляторов перемещения в среднее положение, изменением сопротивлений в схеме регуляторов надо добиться, чтобы пятно на экране находилось примерно в центре экрана. Далее регулятором вертикального перемещения нужно проверить смещение пятна вверх и вниз. Затем, установив пятно снова в центр, проверяется перемещение пятна вправо и влево. При правильном подборе сопротивлений в схеме регулировки перемещения пятно должно смещаться на весь диаметр трубки. Если этого не получается, следует проверить напряжение, подводимое к схемам регулировок (оно должно быть порядка 120—150 *в* для трубок 906 и ЛО-729). Если же пятно вовсе не появляется на экране или находится в стороне от центра и не может быть приведено в центр, то это означает, что либо схема регулировки собрана неверно, либо сопротивления схемы неисправны или неточно подобраны.

Проверка исправности работы регуляторов яркости и фокусировки производится путем вращения ручек «Яркость» и «Фокус». При вращении этих ручек пятно на экране должно фокусироваться в маленькую точку, яркость которой можно изменять. Если пятно не фокусируется, следует проверить сопротивления делителя напряжения, с которых снимается напряжение на управляющий электрод и первый анод. Плохая фокусировка пятна может быть и из-за плохой фильтрации питающего напряжения. В этом случае рекомендуется увеличить емкости конденсаторов и сопротивления фильтра высоковольтного выпрямителя.

Проверив режим работы трубки и регулировки, можно приступить к проверке и налаживанию генератора развертки. Если есть возможность использовать для этой цели другой осциллограф, то проверка генератора развертки очень упрощается. В этом случае напряжение генератора развертки подается на вертикально-отклоняющие пластины вспомогательного осциллографа и на экране его наблюдается форма, частота и амплитуда пилообразного напряжения. Проверку работы генератора развертки следует провести на всех диапазонах и, кроме того, проверить пере-

крытие диапазона с помощью сопротивления, служащего для плавной регулировки частоты развертки. Необходимо при регулировке генератора развертки обратить внимание на линейность развертки и уменьшение времени обратного хода.

Проверка усилителей производится обычным путем. Следует только тщательно проследить за равномерностью усиления по всему диапазону частот.

После проверки усилителей проверяется работа осциллографа в целом. Для этого на вход усилителя вертикального отклонения подается переменное напряжение, переключатель развертки ставится в положение «Внутр.» и, наблюдая за изображением на экране, проверяется работа регулятора вертикального усиления и регулятора синхронизации.

При регулировке осциллографа следует помнить, что в некоторых точках схемы, а также на анодах трубки имеется высокое напряжение, поэтому работать необходимо осторожно.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

Для того чтобы получить неискаженные результаты наблюдений или измерений при пользовании осциллографом, необходимо знать его чувствительность, входное сопротивление и частотную характеристику усилителей. Необходимо также знать причины возникновения искажений и, по возможности, уметь их устранять.

Разберем некоторые общие вопросы, касающиеся пользования осциллографом.

В большинстве осциллографов входные цепи горизонтального и вертикального отклонения имеют по одному заземленному зажиму и по одному подсоединенному через конденсатор к сетке лампы соответствующего усилителя. Эти конденсаторы редко рассчитываются на напряжения выше 450—500 *в*. Поэтому на входные зажимы нельзя подавать высокое напряжение (обычно не более 250 *в*), иначе может быть пробит конденсатор и поврежден осциллограф. При необходимости исследовать более высокие напряжения следует пользоваться делителем напряжения.

При исследовании напряжения высокой частоты необходимо определить, достаточна ли частота генератора раз-

вертки и обеспечивает ли частотная характеристика усилителя пропускание исследуемой частоты без искажений. Диапазон частот развертки в зависимости от схемы генератора развертки может быть от 5—10 *гц* до нескольких тысяч герц, а в лучшем случае до 100—200 *кгц*.

Предел частоты исследуемого напряжения для осциллографа примерно равен удесятеренной максимальной частоте развертки. При таком соотношении частоты исследуемого напряжения и частоты развертки еще можно достаточно отчетливо и без значительных искажений наблюдать форму исследуемого напряжения.

Частоты, сравнительно равномерно усиливаемые вертикальным и горизонтальным усилителями, редко бывают ниже 10—20 *гц* и выше 100—200 *кгц*. Поэтому при исследовании напряжений, лежащих в диапазоне 10—20 *гц* — 100—200 *кгц*, можно пользоваться усилителями. При более высоких частотах следует исследуемое напряжение подавать непосредственно на отклоняющие пластины трубки.

При подаче исследуемого напряжения непосредственно на пластины трубки следует иметь в виду, что чувствительность трубки невысока. Для обычных трубок чувствительность не превышает 0,2—0,3 *мм* на 1 *в*. Поэтому для получения на экране изображения, удобного для наблюдения и измерения, необходимо, чтобы величина исследуемого напряжения была не ниже 30—40 *в*. Для определения чувствительности трубки нужно на отклоняющие пластины подать известное постоянное напряжение и измерить расстояние в миллиметрах между первоначальным и последующим положением сфокусированного пятна на экране. Разделив число миллиметров на число вольт, подведенных к пластинам, мы получим чувствительность трубки. Для определения чувствительности осциллографа при использовании усилителей необходимо на вход соответствующего усилителя подать синусоидальное напряжение, контролируемое вольтметром переменного тока. При выключенном генераторе развертки на экране появится вертикальная или горизонтальная линия.

При определенной величине входного напряжения ручкой «Усиление» можно установить необходимую длину линии, а следовательно, и изображения, удобного для неискаженных наблюдений и измерений при последующем использовании развертки. После этого нужно измерить длину линии в миллиметрах.

Так как обычно вольтметры переменного тока градуируются в эффективных вольтах, а осциллограф измеряет амплитудные значения переменных величин, причем длина линии пропорциональна удвоенному значению амплитуды, то чувствительность осциллографа при данном усилении равна

$\frac{l}{2{,}828 \cdot U}$, где l — длина линии на экране в *мм*; U — входное эффективное напряжение в *в*.

Если изменить усиление, то изменится и чувствительность осциллографа.

Для уменьшения помех при исследовании малых напряжений общая точка схемы осциллографа должна быть хорошо соединена с заземленной точкой исследуемой цепи и с внешним заземлением. Для соединения входа осциллографа с источником исследуемого напряжения рекомендуется применять экранированный провод с малой емкостью.

При нелинейной развертке изображение на экране не будет точно представлять форму кривой исследуемого напряжения. Для устранения искажений частоту развертки нужно подобрать такой, чтобы на экране появлялись одновременно изображения нескольких периодов исследуемого напряжения.

При большой величине синхронизирующих сигналов изображение на экране искажается за счет слишком значительного сокращения времени прямого хода и увеличения времени обратного хода за каждый период развертки. Во избежание этого необходимо при небольшом напряжении синхронизации плавно регулировать частоту развертки до тех пор, пока изображение на экране станет почти неподвижным, и затем увеличить синхронизирующий сигнал, чтобы получить полную неподвижность изображения.

Осциллограф обладает достаточно большим входным сопротивлением, которое в подавляющем большинстве случаев бывает выше сопротивления исследуемой цепи, однако в некоторых цепях сопротивление цепи бывает соизмеримым с входным сопротивлением осциллографа и даже выше его. В этом случае осциллограф будет шунтировать исследуемую цепь и результаты наблюдений или измерений будут искажаться. Применять осциллограф для исследования цепей, имеющих сопротивления в несколько мегом,

уже нежелательно. Входная емкость осциллографа, которая обычно бывает порядка 20—60 *мкмкф*, может также нежелательно сказаться на результатах исследований в высокочастотных схемах и при измерении характеристик видеоусилителей. При применении осциллографа для исследований в высокочастотных цепях следует всегда предварительно выяснить, какие изменения или искажения в работу схемы внесет присоединение емкости осциллографа.

Не следует долгое время держать пятно в одной точке экрана, так как при длительной бомбардировке экрана в одной точке происходит выгорание флюоресцирующего слоя.

Эти общие замечания следует помнить при пользовании электронно-лучевым осциллографом.

Перейдем теперь к измерениям с помощью электронно-лучевого осциллографа.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ, КАК ВОЛЬТМЕТР ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для измерения напряжения постоянного тока измеряемое напряжение подается на вертикально-отклоняющие пластины помимо входного разделительного конденсатора. Для определения величины измеряемого напряжения измеряется смещение пятна по вертикали и делится на чувствительность трубки, которая заранее должна быть определена.

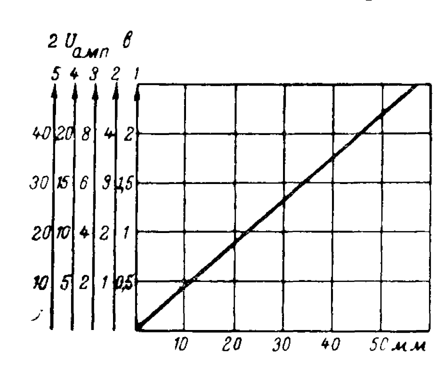
При измерении напряжения постоянного тока осциллограф имеет очень высокое входное сопротивление. Однако вследствие того, что диапазон измеряемых напряжений очень небольшой (для трехдюймовой трубки не превышает 100 *в*), а также низкой точности измерений, осциллограф для измерения напряжения постоянного тока применяется редко.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ, КАК ВОЛЬТМЕТР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Как вольтметр переменного тока, осциллограф имеет ряд преимуществ перед вольтметрами других систем. Этими преимуществами являются высокое входное сопротивление, сравнительно малая входная емкость, широкий частотный диапазон измеряемых напряжений и возможность

измерять амплитудное значение напряжения независимо от формы кривой напряжения.

Осциллограф является пиковым вольтметром переменного тока. При использовании осциллографа в качестве пикового вольтметра необходимо произвести его градуировку. Для этой цели на зажимы усилителя вертикального отклонения подается синусоидальное напряжение, контролируемое вольтметром переменного тока, а напряжение развертки выключается. При этом на экране осциллографа появится вертикальная линия, пропорциональная удвоенной величине приложенного переменного напряжения. Если ручку «Усиление» установить в определенном положении, то, изменяя величину синусоидального напряжения и измеряя длину вертикальной линии, можно составить градуировочную таблицу или график. Пример такого графика при различных положениях ручки «Усиление» показана на фиг. 28.



Фиг. 28. График градуировки осциллографа, используемого как пиковый вольтметр.

На графике по горизонтали откладывается длина линии на экране осциллографа, а по вертикали удвоенное амплитудное значение входного напряжения. Линии *1*—*5* соответствуют градуировке при различных положениях ручки «Усиление». Если на вход усилителя вертикального отклонения мы подадим неизвестное переменное напряжение, то по длине вертикальной линии на экране согласно графику можно определить величину этого напряжения.

Если частота измеряемого напряжения будет выше, чем наибольшая частота, пропускаемая вертикальным усилителем без искажений, то измеряемое напряжение должно быть подано непосредственно на вертикально-отклоняющие пластины. В этом случае требуется отдельная градуировка.

Измерение напряжения следует производить при положении луча в центре экрана трубки, так как чувствительность трубки на краю экрана меняется.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ, КАК АМПЕРМЕТР

Так как в измерительных осциллографах обычно применяются электростатические электронно-лучевые трубки, то осциллограф может быть использован для измерения силы тока только косвенным путем. Если в цепь, в которой желательно измерить ток, включить известное сопротивление и измерить с помощью осциллографа падение напряжения на этом сопротивлении, то силу тока в цепи можно подсчитать по закону Ома

$$I=\frac{U}{R},$$

где I — сила тока цепи в *а*;
R — величина сопротивления в *ом*;
U — напряжение на сопротивлении R, измеренное осциллографом в *в*.

В качестве сопротивления R может быть использовано также любое достаточной величины сопротивление, имеющееся в исследуемой цепи, если величина его точно известна.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ, КАК ВАТТМЕТР

Метод, применяемый для измерения тока, может быть использован и для измерения мощности, рассеиваемой на какой-либо нагрузке, если сопротивление этой нагрузки известно. Если с помощью осциллографа измерить падение напряжения на сопротивлении, как это указывалось выше, то мощность P может быть подсчитана по формуле

$$P=U\cdot I=\frac{U^2}{R}.$$

ФИГУРЫ ЛИССАЖУ

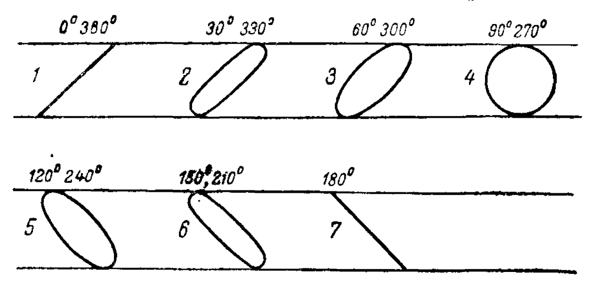
Если выключить генератор развертки, а к горизонтально- и вертикально-отклоняющим пластинам осциллографа подвести два синусоидальных напряжения, то на экране появляется замкнутая кривая. При различных частотах, амплитудах и фазах синусоидальных напряжений получаются различные фигуры, называемые фигурами Лиссажу.

Основное применение фигур Лиссажу состоит в определении разности фаз и частот двух синусоидальных напряжений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО УГЛА

Определение фазового угла между двумя напряжениями одной и той же частоты часто требуется при налаживании радиоаппаратуры, при определении фазовых искажений.

Для определения фазового угла на горизонтальный и вертикальный вход осциллографа подаются напряжения, фазовый угол между которыми нужно определить, например, с входа и выхода усилителя. На фиг. 29 показаны



Фиг. 29. Определение разности фаз по фигурам Лиссажу.

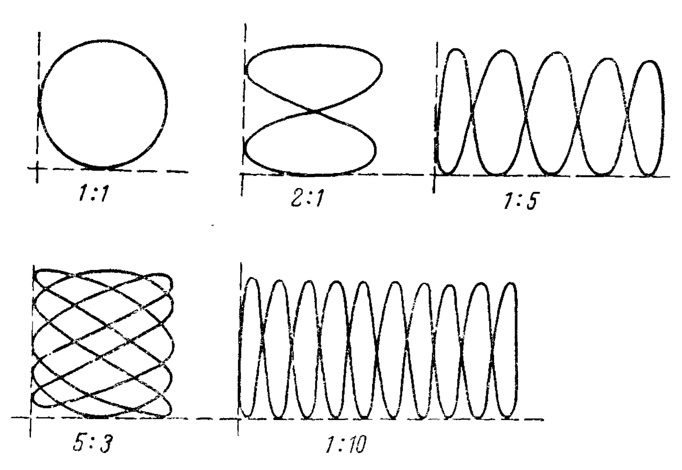
фигуры Лиссажу для различного сдвига фаз обоих напряжений. Эти фигуры могут быть получены только в том случае, если на горизонтально- и вертикально-отклоняющие пластины поданы напряжения строго одинаковой амплитуды, в противном случае (при сдвиге фаз 90 и 270°) фигуры никогда не превратятся в окружность, а всегда будут оставаться эллипсами. Поэтому при определении разности фаз нужно строго следить за равенством амплитуд напряжений, подводимых к отклоняющим пластинам трубки. Это легко сделать регулировкой усиления, так чтобы фигуры точно вписывались в квадрат.

СРАВНЕНИЕ ДВУХ ЧАСТОТ

Пользуясь фигурами Лиссажу, можно с помощью осциллографа измерять частоту неизвестного переменного напряжения путем сравнения с известной частотой, а также определить отношение двух частот.

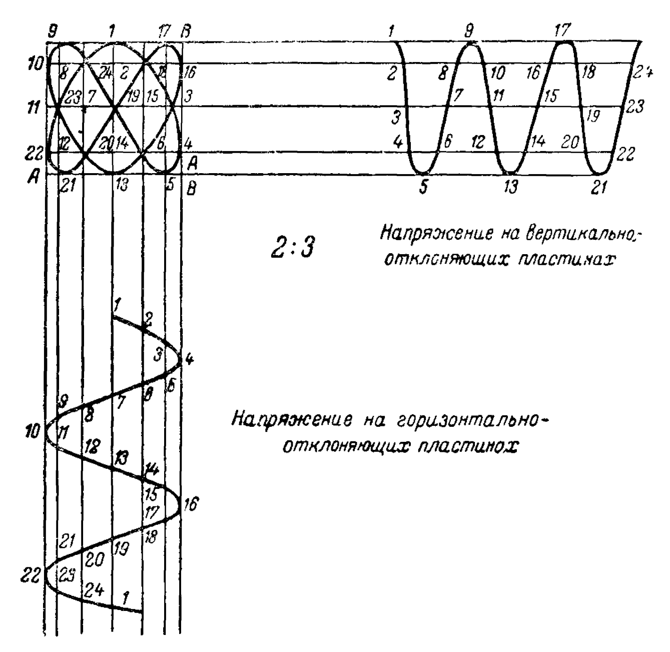
Способ определения отношения частот состоит в следующем. Отношение частоты напряжения, приложенного к горизонтальным пластинам, к частоте напряжения, приложенного к вертикальным пластинам, равно отношению числа

точек касания фигуры с вертикальной линией, к числу точек касания фигуры с горизонтальной линией, как это показано на фиг. 30. Простейшим случаем является окружность, показанная на фиг. 30. (Отношение частот равно 1 : 1.) Определение больших отношений частот затруднительно. Поэтому следует стремиться получать более низкие отношения. Для этого соответственно должна быть выбрана известная частота.



Фиг. 30. Фигуры Лиссажу для различных отношений частот.

Для определения неизвестной частоты сравнением с известной следует к горизонтально-отклоняющим пластинам подвести напряжение неизвестной частоты, а к вертикально-отклоняющим пластинам—напряжения известной частоты и подбирать ее до получения на экране удобной для наблюдения фигуры. Затем нужно подсчитать количество точек касания фигуры с вертикальной линией и количество точек касания с горизонтальной. Отношение количества точек касания даст отношение частот. Например, на фиг. 31 количество точек касания с вертикальной линией равно 2, а с горизонтальной 3. Следовательно, отношение частоты напряжения, поданного на горизонтально-отклоняющие пластины, к частоте напряжения на вертикально-отклоняющих пластинах равно 2 : 3. Если напряжение, подведенное к вертикально-отклоняющим пластинам, имеет частоту $f = 1\,500$ *гц*, то для случая отношения 2 : 3 частота напря-



Фиг. 31. Фигура Лиссажу для отношения частот 2:3.

жения, подведенного к горизонтально-отклоняющим пластинам, определится из формулы

$$\frac{f_г}{f_в} = \frac{2}{3} \text{ или } f_г = \frac{2}{3} \cdot f_в = \frac{2}{3} \cdot 1\,500 = 1\,000 \text{ } гц\,.$$

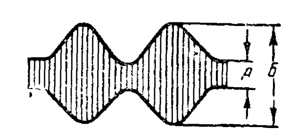
При измерении звуковых частот за известную частоту можно с успехом применять частоту осветительной электросети, равную 50 *гц*.

ИЗМЕРЕНИЕ ГЛУБИНЫ МОДУЛЯЦИИ

При исследовании передатчиков с амплитудной модуляцией электронно-лучевой осциллограф может быть применен в качестве измерителя глубины модуляции.

Для этой цели на вертикально-отклоняющие пластины, с помощью емкостной или индуктивной связи, подается модулированное напряжение с выходного каскада или из антенны передатчика. Усилитель вертикального отклонения

должен быть выключен. Величина связи подбирается такой, чтобы получить удобное для измерений изображение. Измерение глубины модуляции может быть произведено несколькими способами. Здесь мы остановимся на двух наиболее простых: способе использования развертки осциллографа и способе использования в качестве развертки модулирующего напряжения.



Фиг. 32. Изображение модулированного колебания на экране осциллографа.

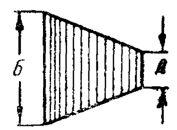
При первом способе включается генератор развертки осциллографа и для случая, когда частота развертки вдвое меньше частоты модуляции, на экране трубки получается изображение высокочастотного модулированного напряжения, как показано на фиг. 32.

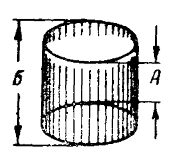
Для определения коэффициента модуляции в процентах нужно измерить расстояние *А* и *Б* и подставить их значения в формулу

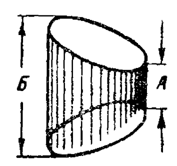
$$M=\frac{Б-А}{Б+А}\cdot 100\%.$$

Этот способ дает также возможность определить симметричность модуляции вверх и вниз.

Второй способ измерения глубины модуляции заключается в том, что, как и в первом случае, модулированное







Фиг. 33. Изображение модулированного колебания на экране осциллографа при развертке модулирующим напряжением.

высокочастотное напряжение подводится к вертикально-отклоняющим пластинам, а к горизонтально-отклоняющим пластинам подводится модулирующее напряжение. В зависимости от соотношения фаз между огибающей модулированного колебания и модулирующим напряжением на экране трубки получаются фигуры, подобные показанным на фиг. 33. Измерив расстояния *А* и *Б* и подставив их значе-

ния в предыдущую формулу, можно определить коэффициент модуляции.

Такой метод дает возможность определить искажения и сдвиг фаз путем наблюдения за отклонением боковых сторон трапеции от прямой линии. Криволинейность боковых сторон указывает на искажения формы модулирующего колебания, эллиптическая же форма боковых сторон указывает на фазовый сдвиг.

НАБЛЮДЕНИЕ НА ЭКРАНЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ОДНОВРЕМЕННО ДВУХ ОСЦИЛЛОГРАММ

Часто бывает желательно наблюдать одновременно на экране осциллографа две осциллограммы. Такая необходимость может встретиться при налаживании усилителей низкой частоты, когда требуется сравнить форму кривой напряжения, подводимого к усилителю, и форму кривой на выходе усилителя или на выходе промежуточных каскадов, определить место образования нелинейных и фазовых искажений, а также определить степень усиления сигнала. Кроме того, наблюдение двух осциллограмм различных напряжений может понадобиться при сравнении двух напряжений, частота одного из которых неизвестна, а вторая является масштабом для определения первой.

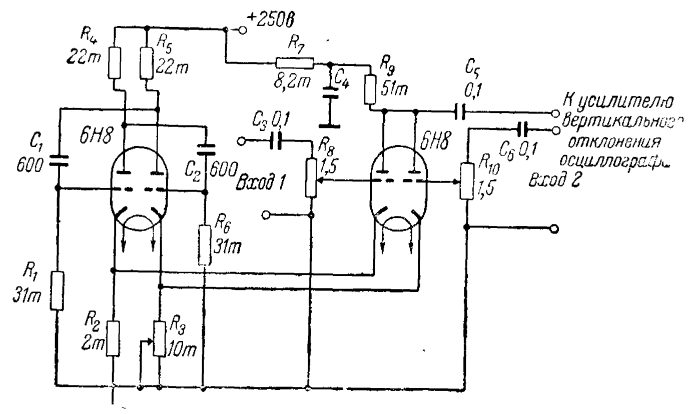
Одновременное наблюдение двух кривых может быть осуществлено способом переброса луча. Этот способ заключается в том, что отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки попеременно подключаются то к одному, то к другому источнику исследуемого напряжения. При этом переключение производится с такой частотой, что глаз не замечает этих переключений, в результате на экране получается непрерывное изображение двух осциллограмм. Для переключения луча применяются так называемые электронные переключатели.

На фиг. 34 представлена простая схема электронного переключателя. Эта схема описана в № 11 журнала «Радио» за 1949 г. и по отзывам дает вполне хорошие результаты. Правая лампа 6Н8 работает в схеме двухканального усилителя. Исследуемые напряжения подаются на управляющие сетки этой лампы через разделительные конденсаторы C_3 и C_6. Амплитуды подводимых напряжений регулируются с помощью переменных сопротивлений R_8 и R_{10}. Оба анода лампы соединены параллельно и работают на общую на-

грузку R_9, с которой усиленное напряжение подается на усилитель вертикального отклонения осциллографа.

Левая лампа 6Н8 работает в схеме симметричного мультивибратора и генерирует напряжение прямоугольной формы. Это напряжение, снимаемое с сопротивления R_2, подается на левый триод усилительной лампы. На правый триод напряжение прямоугольной формы снимается с сопротивления R_3.

Напряжения на сопротивлениях R_2 и R_3 сдвинуты по фазе на 180° и попеременно запирают триоды усилитель-



Фиг. 34. Схема упрощенного электронного переключателя.

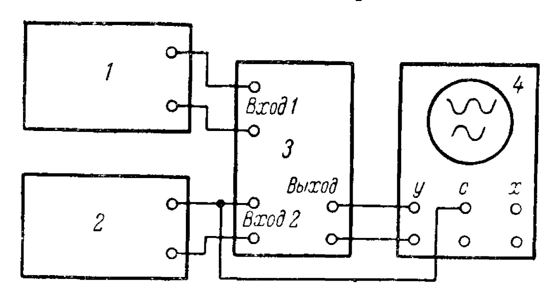
ной лампы, благодаря чему на общей анодной нагрузке усилителя появляется попеременно то усиленное напряжение с входа *1*, то усиленное напряжение с входа *2*.

Вследствие того, что частота переключений (отпирания и запирания усилителей) довольно высокая, на экране осциллографа появляются изображения обоих исследуемых напряжений. Для обеспечения разведения или совмещения изображений сопротивление R_3 сделано переменным. Меняя величину этого сопротивления, изображение исследуемого напряжения с входа *2* можно передвигать по экрану вверх и вниз.

Переключатель работает в диапазоне от 30 до 20 000 *гц*. Расширение диапазона в сторону высоких частот может быть достигнуто изменением частоты мультивибратора. Для подробного знакомства с работой схемы отсылаем читателя к упомянутому журналу.

Подключение электронного переключателя к осциллографу производится по блок-схеме, изображенной на фиг. 35. Выход электронного переключателя присоединяется к входу усилителя вертикального отклонения осциллографа. Источники исследуемых напряжений *1* и *2* подключаются к первому и второму входам электронного переключателя.

Переключатель синхронизации осциллографа устанавливается в положение внешняя синхронизация. Синхронизи-



Фиг. 35. Блок-схема для одновременного наблюдения двух осциллограмм.

1—2 источники исследуемых напряжений; *3*—электронный переключатель; *4*—осциллограф; *Y*—вход вертикального отклонения; *X*—вход горизонтального отклонения; *C*—вход внешней синхронизации.

рующее напряжение подается на зажимы внешней синхронизации от одного из источников исследуемых напряжений. Если исследуемые напряжения имеют разные частоты, то синхронизация осуществляется от напряжения с более низкой частотой. Совмещение или разведение осей времени исследуемых напряжений достигается изменением положения ручки сопротивления R_3 электронного переключателя. При работе с последним усилитель вертикального отклонения осциллографа устанавливается на наименьшее возможное усиление, а изменение величины изображения достигается регулировкой делителей напряжения на входе усилителей электронного переключателя.

НАБЛЮДЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНИКОВ И ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Резонансная характеристика приемника или высокочастотного усилителя представляет собой графическое изображение изменения выходного напряжения от частоты при неизменном напряжении на входе приемника или усилителя.

Наблюдение резонансных характеристик приемников и усилителей бывает весьма желательным при их настройке, когда требуется не только настроить контуры в резонанс, но и получить определенные резонансные кривые контуров. При настройке приемников и резонансных усилителей с помощью генератора сигналов и вольтметра на выходе оператор видит только конечный результат своих действий, затрачивает очень много времени на проверку полосы пропускания после каждой операции с контурами и работает как бы вслепую. Применение электронно-лучевого осциллографа для настройки контуров позволяет оператору видеть характеристики их, выбрать желательную форму и проверять каждую свою операцию.

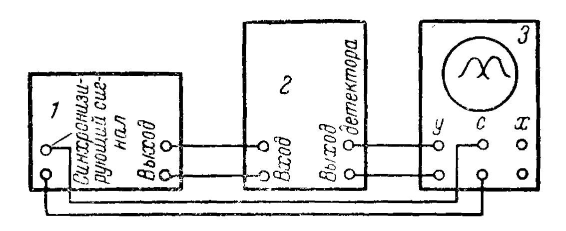
Для наблюдения резонансных характеристик с помощью осциллографа применяются два метода, которые в конечном счете сводятся к тому, что на приемник или резонансный усилитель подается частотно-модулированный сигнал, а для определения выходного напряжения используется осциллограф с разверткой по времени. В результате на экране получается изображение всей резонансной характеристики. Частотно-модулированный сигнал может быть получен или от специального генератора частотно-модулированных сигналов, или от обычного генератора сигналов с применением специальной приставки, позволяющей преобразовать сигнал с постоянной частотой в частотно-модулированный. Для частотно-модулированных генераторов сигналов и приставок обычно принято брать пределы частотной модуляции до $\pm$ 25 *кгц* при модулирующей частоте 50 *гц*.

На фиг. 36 представлена блок-схема, применяемая для наблюдения резонансных характеристик приемника с частотно-модулированным генератором, а на фиг. 37 — блок-схема с применением приставки. Вход приемника соединяется с выходом генератора или приставки. Синхронизация развертки осциллографа осуществляется от ЧМ-генератора или приставки. Для этой цели они имеют зажимы, к которым подведено синхронизирующее напряжение. Синхронизирующее напряжение от генератора или приставки подается на зажимы внешней синхронизации осциллографа. Переключатель вида синхронизации устанавливается в положение «Внешняя».

Вход усилителя вертикального отклонения осциллографа присоединяется к незаземленной точке нагрузочного сопротивления второго детектора. Присоединение осциллографа

непосредственно к выходу низкочастотного усилителя приводит к большим искажениям изображения за счет емкостей и трансформаторов, имеющихся в усилителе.

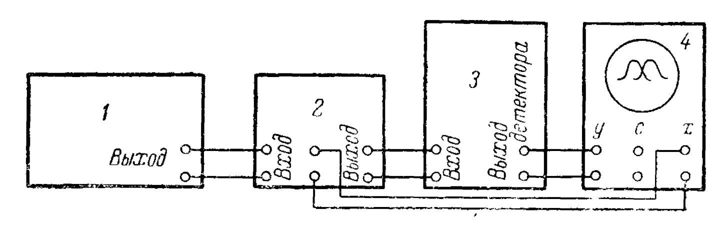
Сигнал от генератора или приставки поочередно подается на сетки ламп, начиная с первой от детектора, до ан-



Фиг. 36. Блок-схема для наблюдения резонансных характеристик с использованием частотно-модулированного генератора.

1—частотно-модулированный генератор; *2*—проверяемый приемник; *3*—осциллограф; *Y*—вход вертикального отклонения; *С*—внешняя синхронизация; *X*—вход горизонтального отклонения.

тенного входа приемника и производится настройка контуров до получения желаемой формы резонансной характеристики. При настройке усилителя промежуточной частоты контур гетеродина приемника закорачивается.



Фиг. 37. Блок-схема для наблюдения резонансных характеристик с использованием частотно-модулирующей приставки.

1—генератор сигналов; *2*—частотно-модулирующая приставка; *3*—проверяемый приемник; *4*—осциллограф; *Y*—вход вертикального отклонения; *X*—вход горизонтального отклонения.

Гетеродин приемника настраивается после настройки усилителя промежуточной частоты до совпадения высоты кривых. После настройки гетеродина настраиваются контуры первого детектора и усилителя высокой частоты до получения симметрии и наибольшей высоты кривых.

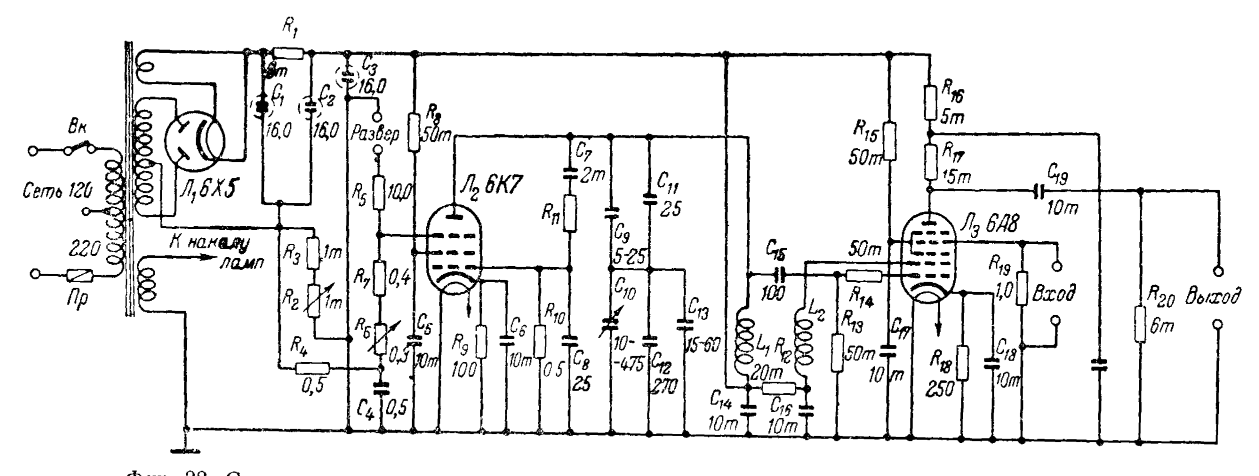
Поворачивая ручку настройки гетеродина или приставки, можно сдвигать изображение резонансной характеристики вправо и влево на определенное число килогерц и, таким образом, определить избирательность и полосу пропускания приемника, пользуясь масштабной сеткой.

На фиг. 38 приведена схема приставки к осциллографу для наблюдения резонансных характеристик. Приставка собрана на трех лампах: 6А8, 6К7 и 6Х5.

Лампа 6А8 ($Л_3$) работает в схеме гетеродина-смесителя. Гетеродинная часть лампы генерирует колебания высокой частоты. Колебательный контур гетеродина состоит из катушки L_1 и конденсаторов C_9 — C_{13}. Катушка L_2 служит обратной связью. Параллельно контуру гетеродина включена анодная цепь лампы 6К7 ($Л_2$). На управляющую сетку этой лампы через делитель из сопротивления R_{11} и C_8 подается переменное напряжение, сдвинутое по фазе относительно переменного напряжения на аноде. Конденсатор C_7 защищает сетку от высокого анодного напряжения. Лампа 6К7 работает в качестве так называемой реактивной нагрузки и ведет себя, как индуктивность, подключенная к колебательному контуру. Действие лампы, как индуктивности, обратно пропорционально крутизне лампы и может быть определено по формуле

$$L_{экв} = \frac{R_{11} \cdot C_8}{S}.$$

Крутизна лампы зависит в свою очередь от напряжения на антидинатронной сетке. На эту сетку через делитель R_5, R_6 и R_7 подается напряжение от генератора развертки осциллографа и тогда определенной мгновенной величине напряжения развертки соответствует определенное значение крутизны лампы, т. е. определенное действие лампы на контур, как индуктивности. Изменение напряжения развертки, таким образом, вызывает изменение частоты контура. Изменение частоты контура происходит в пределах 50 *кгц* при изменении напряжения развертки от пика до пика на 40 *в*. На сигнальную сетку лампы 6А8 подается сигнал от внешнего генератора сигналов. С анодной нагрузки лампы 6А8 снимается на исследуемый приемник преобразованный сигнал, несущая частота которого равна разности частот внешнего генератора и гетеродина. С помощью конденсатора C_{10} можно менять частоту гетеродина, а следовательно, и ча-



Фиг. 38. Схема приставки к осциллографу для наблюдения резонансных характеристик.

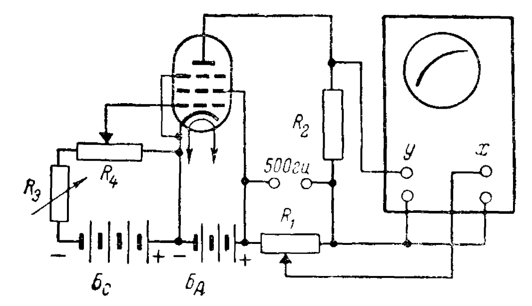
стоту напряжения, снимаемого с анодной нагрузки лампы 6А8, в пределах ± 25 *кгц*.

Простая приставка описана в № 11 журнала «Радио» за 1949 г. и по отзывам работает вполне удовлетворительно.

НАБЛЮДЕНИЕ ЛАМПОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Наблюдение характеристики зависимости анодного тока от анодного напряжения при постоянном напряжении смещения на сетке может быть произведено с помощью осциллографа по схеме, приведенной на фиг. 39.

Напряжение на анод испытуемой лампы подается одновременно от источника постоянного тока и источника пере-



Фиг. 39. Схема для наблюдения характеристик зависимости анодного тока от анодного напряжения.

Y—вход вертикального отклонения; *X*—вход горизонтального отклонения.

менного тока с частотой 500 *гц*. Амплитудное значение напряжения источника переменного тока берется равным напряжению источника постоянного тока и равным половине максимального напряжения, необходимого для питания анода лампы.

В момент, когда к аноду прикладывается положительный полупериод переменного напряжения, анодное напряжение равно сумме напряжений источников переменного и постоянного тока. При амплитудном значении переменного напряжения анодное напряжение равно максимальному значению этой суммы. В момент же, когда к аноду прикладывается отрицательный полупериод, напряжения источников действуют навстречу и их результирующее напряжение, приложенное к аноду, равно их разности. При амплитудном

значении напряжения в отрицательный полупериод результирующее напряжение равно нулю.

Таким образом, 500 раз в секунду анодное напряжение меняется от нуля до максимального значения, равного сумме напряжений источников.

Часть переменного напряжения снимается с сопротивления R_1 на вход горизонтального отклонения луча осциллографа (при выключенном генераторе развертки). Отклонение луча по горизонтали будет пропорционально анодному напряжению.

В анодной цепи лампы включено сопротивление R_2, падение напряжения на котором меняется с изменением анодного тока при изменении результирующего анодного напряжения. Напряжение, снимаемое с сопротивления R_2, подводится к входу вертикального отклонения луча осциллографа и вызывает отклонение луча по вертикали, пропорциональное анодному току. Если на сетку подать определенное напряжение смещения, то под результирующим действием быстроменяющихся напряжений, снимаемых с R_1 и R_2, на экране осциллографа будет вычерчена характеристика зависимости анодного тока от анодного напряжения при данном напряжении на сетке.

Изменив напряжение на сетке, можно получить новую характеристику. Если же сделать отводы от источника сеточного напряжения и с помощью какого-нибудь переключателя быстро проходить всю шкалу выбранных сеточных напряжений, то на экране осциллографа можно получить семейство характеристик зависимости анодного тока от анодного напряжения при различных сеточных смещениях. Применяя масштабную сетку, можно полученные характеристики оценить и количественно.

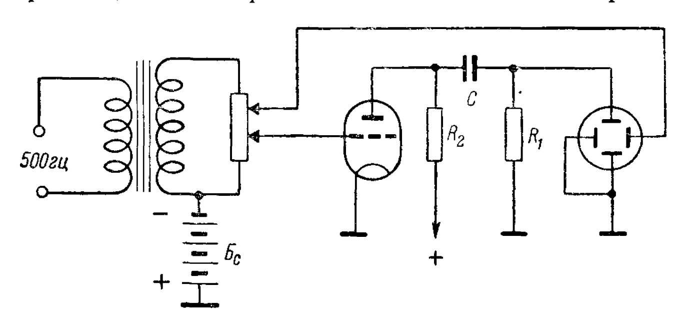
В качестве источника переменного напряжения можно применять звуковой генератор достаточной мощностью. Можно также для этой цели применять напряжение сети, однако при этом изображение характеристики получается недостаточно четким.

Следует иметь в виду, что длительное пребывание лампы в данной схеме не рекомендуется из-за перегрузки экранной сетки. Дело в том, что в то время, когда анодное напряжение близко или равно нулю, сильно растет экранный ток, который вызывает разогрев экранной сетки и может при длительном действии привести к повреждению экранной сетки. Зависимость тока экранной сетки от анод-

ного напряжения можно также наблюдать на осциллографе, если сопротивление R_2 включить в цепь экранной сетки.

На фиг. 40 приведена схема, пригодная для наблюдения характеристик зависимости анодного тока от изменения сеточного напряжения при постоянном напряжениии на аноде.

Здесь на вход горизонтального отклонения луча осциллографа подается напряжение от источника переменного



Фиг. 40. Схема для наблюдения характеристик зависимости анодного тока от напряжения на сетке.

напряжения на сетке, а на вход вертикального отклонения— напряжение с сопротивления R_1, это напряжение пропорционально изменению анодного тока. Анодное напряжение постоянно. Конденсатор C служит для предохранения осциллографа от высокого анодного напряжения. Изменяя значение анодного напряжения скачками, можно наблюдать семейство сеточных характеристик.

Для получения статических характеристик сопротивление в обеих схемах выбирается небольшим по сравнению с внутренним сопротивлением лампы.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ОСЦИЛЛОГРАММ

При исследовании и наблюдении различных характеристик на экране осциллографа иногда бывает необходимо зафиксировать полученные осциллограммы. Для этой цели могут быть применены обычные фотоаппараты.

Так как свечение экрана не очень интенсивно, то осциллографирование производится через трубу, которая защищает объектив фотоаппарата от посторонних источников света. Для трубок 906 и ЛО-729 при светосиле объек-

тива 2,5 для фотографирования осциллограмм требуется экспозиция порядка 2—4 сек. Понятно, что при такой экспозиции можно фотографировать только неподвижные осциллограммы. Лучшие результаты дают киноаппараты с экспозицией $^1/_{16}$ и $^1/_8$ сек.

Запись неподвижной осциллограммы может быть произведена и без фотоаппарата. Для этой цели против экрана осциллографа на штативе устанавливается призматическое зеркало, которое проектирует осциллограмму на лист белой бумаги, лежащей на столе. Это изображение осциллограммы обводится тонко очиненным карандашом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели работу электронно-лучевого осциллографа и некоторые нашедшие широкое распространение измерения с помощью осциллографа. Из рассмотренного следует, что электронно-лучевой осциллограф является весьма универсальным и незаменимым прибором в измерительной технике. Кроме осциллографов общего применения существует ряд приборов с использованием электронно-лучевых трубок, таких как приборы для наблюдения и измерения спектров сложных переменных напряжений, синхроноскопы — приборы для наблюдения и исследования формы очень коротких импульсов, осциллографы с ждущей разверткой, позволяющие измерять длительность, частоту и форму различных импульсов тока и напряжения, нашедшие широкое распространение в радиолокации, и другие.

В радиолюбительской практике осциллограф также становится незаменимым прибором.

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ТРУБОК ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Условное обозначение	Цвет свечения экрана	Диаметр экрана, мм	Накал $U_н$, в	Накал $I_н$, а	Напряжение на анодах минимальное U_{a_1}, в	Напряжение на анодах минимальное U_{a_2}, в	Напряжение на анодах максимальное U_{a_1}, в	Напряжение на анодах максимальное U_{a_2}, в	Максимальный ток второго анода, мка	Запирающее напряжение на управляющем электроде, в	Чувствительность средняя по осям X и Y, мм/в	Высота H, мм
ЛО-705	Зеленый	78	2,5	1,8—2,4	800	200	1 200	380	85	—60	0,2	300
ЛО-706	Синий	78	2,5	1,8—2,4	800	200	1 200	380	85	—60	0,2	300
ЛО-709	Зеленый	135	2,5	1,8—2,4	1 000	170	2 000	400	85	—40	0,2	430
ЛО-710	Синий	135	2,5	1,8—2,4	1 000	170	2 000	400	85	—55	0,2	430
ЛО-713	Синий	78	2,5	1,8—2,4	800	200	3 000	1 100	85	—100	0,12	315
ЛО-716	Зеленый	53	2,5	1,8—2,4	400	100	600	150	70	—90	0,2	195
ЛО-719	Светлозеленый	78	2,5	1,8—2,4	800	250	1 200	350	85	—60	0,2	300
ЛО-720	Белый	78	2,5	1,8—2,4	800	200	1 200	350	85	—60	0,2	300
ЛО-721	Белый	135	2,5	1,8—2,4	1 000	170	2 000	450	85	—55	0,2	430
ЛО-729	Зеленый	76	6,3	0,6	1 500	430	2 000	575	—	—60	0,15	—
ЛО-736	Оранжевый	127	6,3	0,6	1 500	430	2 000	575	—	—60	0,3	—
ЛО-737	Зеленый	127	6,3	0,6	1 500	430	2 000	575	—	—60	0,3	—
ЛО-738	Светлозеленый	51	6,3	0,6	500	125	1 000	250	—	—60	0,13	190

Примечания

1. Чувствит[illegible] трубок дан[illegible]д[illegible] ксимального [illegible]ежима

2. Снижени[illegible] жения на а[illegible] ствительность, [illegible] кость и четкос[illegible] чительно сни[illegible]

3. Значение з[illegible]щего напряжения на управляющем электроде дано для максимального режима

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ НЕКОТОРЫХ ТИРАТРОНОВ

Условное обозначение	Наполнение	Габариты D, мм	Габариты H, мм	Накал $U_н$, в	Накал $I_н$, а	Амплитуда прямого и обратного зажигания, в	Наибольший выпрямленный ток, ма	Максимальное значение амплитуды анодного тока, ма	Рабочий ток в режиме генератора развертки, ма	Запирающее напряжение на сетке, в	Ширина пусковой области, в	Рекомендуемые пределы сопротивления в цепи сетки, тыс. ом	Время прогрева в эксплоатации, мин.	Срок службы, час.
884	Ксеноно-криптоновая смесь	40	105	6,3	0,6	350	75	300	2	—25	2	1—500	0,5	500
885		40	105	2,5	1,4	350	75	300	2	—25	2	1—500	0,5	500
ТГ-2050	Ксеноно-криптоновая смесь	38	124	6,3	0,6	1 200	100	300	3	—	—	1—1000	0,5	500
ТГ-1050	Ксеноно-криптоновая смесь	35	95	6,3	0,6	450	100	300	3	—30	2	1—1000	0,2	500

Примечание. Цоколевка тиратронов октальная—пятиштырьковая. Выводы сделаны так же, как и у лампы 6С5.

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КЕНОТРОНОВ 2Х2 и 1Ц1

Условное обозначение	Тип	Габариты D, мм	Габариты H, мм	Накал $U_н$, в	Накал $I_н$, а	Эффективное переменное напряжение на аноде, в	Амплитуда обратного напряжения, в	Максимально допустимая амплитуда анодного тока, ма	Выпрямленное напряжение, в	Выпрямленный ток, ма	Примечание
2Х2	Одноанодный кенотрон прямого накала	45	115	2,5	1,75	3 000	12 500	100	4 500	7,5	Кенотроны имеют октальную цоколевку. Накал выведен к ножкам *2* и *7*. Анод—к колпачку на баллоне лампы
1Ц1	Одноанодный кенотрон прямого накала	30	80	0,7	0,185	3 000	10 000	—	3 500	1	

Цена 2 руб.